

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-150370
(P2001-150370A)

(43) 公開日 平成13年6月5日 (2001.6.5)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
B 2 5 J 5/00 9/16		B 2 5 J 5/00 9/16	F 3 F 0 5 9

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願平11-332934

(22) 出願日 平成11年11月24日 (1999. 11. 24)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 服部 裕一

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

(72) 発明者 石田 健蔵

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

(74) 代理人 100101801

弁理士 山田 英治 (外2名)

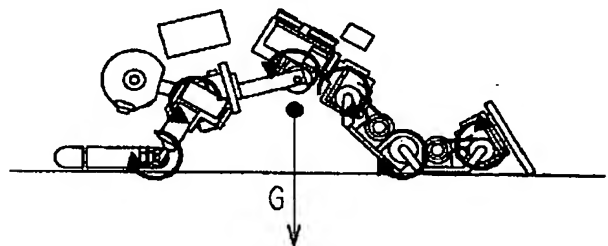
Fターム(参考) 3F059 BA00 BB06 DA08 FC00 FC08

(54) 【発明の名称】 脚式移動ロボット及び脚式移動ロボットの動作制御方法

(57) 【要約】

【課題】 うつ伏せ、仰向け、横向きなど様々な転倒姿勢からも自律的に確実且つ円滑に起き上がることができる。

【解決手段】 脚式移動ロボットは、体幹部においてロール、ピッチ、ヨーなどの各軸に自由度を有する。任意の転倒姿勢において、これら体幹部の自由度を活用することにより、円滑に起き上がることができる。また、体幹部以外の可動部への負担や要求トルクを軽減するとともに荷重負担を各可動部間で分散・平均化することで、特定部位への集中荷重を回避する。この結果、ロボット運用の信頼性を向上するとともに、起き上がり動作期間中のエネルギー効率が向上する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設された上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、

転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、

転倒時の姿勢を判定する手段と、

転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項2】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、

転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、

転倒時の姿勢を判定する手段と、

転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項3】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、

転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、

転倒時に少なくとも前記体幹部の可動自由度の変位を伴う起き上がり動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項4】前記体幹部は少なくともピッチ軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ピッチ軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項3に記載の脚式移動ロボット。

【請求項5】前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項3に記載の脚式移動ロボット。

【請求項6】前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項3に記載の脚式移動ロボット。

【請求項7】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、

転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、

転倒時の姿勢を判定する手段と、

転倒時に他の転倒姿勢に移行するための動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

【請求項8】前記体幹部は少なくともピッチ軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ピッチ軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項7に記載の脚式移動ロボット。

【請求項9】前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項7に記載の脚式移動ロボット。

【請求項10】前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項7に記載の脚式移動ロボット。

【請求項11】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設された上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットのための動作制御方法であって、

転倒したか否かを判断するステップと、

転倒時の姿勢を判定するステップと、

転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項12】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットのための動作制御方法であって、

転倒したか否かを判断するステップと、

転倒時の姿勢を判定するステップと、

転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項13】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットのための動作制御方法であって、

転倒したか否かを判断するステップと、

転倒時に少なくとも前記体幹部の可動自由度の変位を伴う起き上がり動作パターンを実行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項14】前記体幹部は少なくともピッチ軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ピッチ軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項13に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項15】前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項13に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項16】前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有し、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項13に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項17】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設

されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットのための動作制御方法であって、転倒したか否かを判断するステップと、転倒時に他の転倒姿勢に移行するための動作パターンを実行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項18】前記体幹部は少なくともピッチ軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ピッチ軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項17に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項19】前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項17に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項20】前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有し、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することを特徴とする請求項17に記載の脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項21】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して腕部及び脚部のみで着床する姿勢を形成するステップと、少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して脚式移動ロボットの重心を上方に持ち上げるステップと、少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して腕部及び脚部それぞれの着床部分における相対的位置を小さくするステップと、腕部及び脚部それぞれの着床部分同士が充分接近した結果、前記脚式移動ロボットのZMPが足部着床領域に入ったことに応答して、全身の伸展を開始するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項22】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが仰向け姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも股関節ピッチ軸の可動自由度を利用して上体を起こした姿勢を形成するステップと、少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して脚式移動ロボットの重心を前方に移動させるステップと、前記重心が充分前方に移動した結果、前記脚式移動ロボットのZMPが足部着床領域に入ったことに応答して、全身の伸展を開始するステップと、を具備することを特

徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項23】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが横転姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも体幹部ヨー軸の可動自由度を利用してうつ伏せ姿勢に移行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項24】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが横転姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、体幹部ロール軸の可動自由度を利用して上体を床面から浮かすステップと、体幹部ヨー軸の可動自由度を利用してうつ伏せ姿勢に移行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項25】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが仰向け姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも体幹部ヨー軸の可動自由度を利用して横転姿勢に移行するステップを具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【請求項26】少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが転倒姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、
 (a) 仰向け姿勢から横転姿勢に移行するステップ、
 (b) 横転姿勢からうつ伏せ姿勢に移行するステップ、
 (c) うつ伏せ姿勢から横転姿勢に移行するステップ、
 (d) 横転姿勢から仰向け姿勢に移行するステップ、のうち少なくとも1つを具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、生体のメカニズムや動作をモデル化して構成されるリアリスティックなロボットのメカニズムに係り、特に、ヒトやサルなどの脚式移動型動物の身体メカニズムをモデル化した脚式移動型ロボットのメカニズムに関する。

【0002】更に詳しくは、本発明は、歩行動作などの最中に転倒してしまった場合であっても自力で起き上がることができる脚式移動型ロボットの制御メカニズムに係り、特に、転倒してしまい様々な姿勢若しくは格好で横たわっている場合であっても自力で起き上がり、転倒により中断した作業を自動的に再開することができる脚式移動型ロボットのための制御方法メカニズムに関する。

【0003】

【従来の技術】電気的若しくは磁気的な作用を用いて人間の動作に似せた運動を行う機械装置のことを「ロボット」という。ロボットの語源は、スラブ語のROBOTA（奴隷機械）に由来すると言われている。わが国では、ロボットが普及し始めたのは1960年代末からであるが、その多くは、工場における生産作業の自動化・無人化などを目的としたマニピュレータや搬送ロボットなどの産業用ロボット(industrial robot)であった。

【0004】最近では、ヒトやサルなどの2足直立歩行を行う動物の身体メカニズムや動作を模した脚式移動ロボットに関する研究開発が進展し、実用化への期待も高まってきている。2足直立による脚式移動は、クローラ式や、4足又は6足式などに比し不安定で姿勢制御や歩行制御が難しくなるが、不整地や障害物など作業経路上に凹凸のある歩行面や、階段や梯子の昇降など不連続な歩行面に対応することができるなど、柔軟な移動作業を実現できるという点で優れている。

【0005】ヒトの生体メカニズムや動作をエミュレートした脚式移動ロボットのことを、特に、「人間形」、若しくは「人間型」のロボット(humanoid robot)と呼ぶ。人間型ロボットは、例えば、生活支援、すなわち住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動の支援などを行うことができる。

【0006】人間形若しくは人間型と呼ばれるロボットを研究・開発する意義を、例えば以下の2つの視点から把握することができる。

【0007】1つは、人間科学的な視点である。すなわち、人間の下肢及び／又は上肢に似た構造のロボットを作り、その制御方法を考案して、人間の歩行動作をシミュレートするというプロセスを通じて、歩行を始めとする人間の自然な動作のメカニズムを工学的に解明することができる。このような研究成果は、人間工学、リハビリテーション工学、あるいはスポーツ科学など、人間の運動メカニズムを扱う他のさまざまな研究分野の進展に大いに還元することができるであろう。

【0008】もう1つは、人間のパートナーとして生活を支援する、すなわち住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動の支援を行うロボットの開発である。この種のロボットは、人間の生活環境のさまざまな局面において、人間から教わりながら個々に個性の相違する人間又は環境への適応方法を学習し、機能面でさらに成長していく必要がある。このとき、ロボットが「人間形」すなわち人間と同じ形又は同じ構造をしている方が、人間とロボットとのスムーズなコミュニケーションを行う上で有効に機能するものと考えられる。

【0009】例えば、踏んではならない障害物を避けながら部屋を通り抜ける方法を実地においてロボットに教示するような場合、クローラ式や4足式ロボットのように教える相手が自分と全く違う構造をしているよりも、

同じような格好をしている2足歩行ロボットの方がユーザ（作業員）にははるかに教え易く、またロボットにとっても教わり易い筈であろう（例えば、高西著「2足歩行ロボットのコントロール」（自動車技術会関東支部＜高望＞No. 25, 1996 APRIL）を参照のこと）。

【0010】人間の作業空間や居住空間のほとんどは、2足による直立歩行という人間が持つ身体メカニズムや行動様式に合わせて形成されている。言い換えれば、人間の住空間は、車輪その他の駆動装置を移動手段とした現状の機械システムが移動するのには多くの障壁が存在する。しかしながら、機械システムすなわちロボットが様々な人的作業を代行し、さらに人間の住空間に深く浸透していくためには、ロボットの移動可能範囲が人間のそれとほぼ同じであることが好ましい。これが、脚式移動ロボットの実用化が大いに期待されている所以でもある。人間型の形態を有していることは、ロボットが人間の住環境との親和性を高める上で必須であるといえる。

【0011】人間型ロボットの用途の1つとして、産業活動・生産活動等における各種の難作業の代行が挙げられる。例えば、原子力発電プラントや火力発電プラント、石油化学プラントにおけるメンテナンス作業、製造工場における部品の搬送・組立作業、高層ビルにおける清掃、火災現場その他における救助といったような危険作業・難作業の代行である。

【0012】但し、この種の産業利用に特化したロボットは、特定の用途若しくは機能を実現することが設計・製作上の至上の主題であり、2足歩行を前提とはするものの、ヒトやサルなど直立歩行動物が本来持つ身体メカニズムや動作を機械装置として忠実に再現する必要は必ずしもない。例えば、特定用途を実現するために手先の自由度や動作機能を強化する一方で、作業の用途には比較的關係が低いとされる頭部や体幹部（脊椎など）、腰部などの自由度を制限し又を省略することはある程度許容すべきである。この結果、2足歩行と謂えども、ロボットの作業や動作の外観上で、ヒトとしては不自然さが残ることがあるが、かかる点は妥協せざるを得ない。

【0013】また、人間型ロボットの他の用途として、難作業の代行などの生活支援というよりも、生活密着型、すなわち人間との「共生」という用途が挙げられる。この種のロボットは、ヒトやサルなどの2足の直立歩行を行う動物が本来持つ、全身協調型の動作メカニズムを忠実に再現し、その自然に円滑な動作を実現することを至上の目的とする。また、ヒトやサルなどの知性の高い直立動物をエミュレートする以上、四肢を用いた動作が生体として自然であり、且つ、動作が持つ表現力が豊かであることが望ましい。さらに、予め入力された動作パターンを単に忠実に実行するだけではなく、相手の言葉や態度（「褒める」とか「叱る」、「叩く」など）に呼応した、生き生きとした動作表現を実現することも

要求される。この意味において、ヒトを模したエンターテインメント指向の人間型ロボットは、まさに「人間型」のロボットと呼ぶに相応しい。

【0014】既に周知のように、人体は数百の関節すなわち数百に上る自由度を備えている。限りなくヒトに近い動作を脚式移動ロボットに付与するためには、ほぼ同じ自由度を与えることが好ましいが、これは技術的には極めて困難である。何故ならば、1つの自由度に対して少なくとも各1つのアクチュエータを配設する必要があるが、数百のアクチュエータをロボットという機械装置上に実装することは、製造コストの点からも、重量やサイズなど設計の観点からも不可能に等しい。また、自由度が多いと、その分だけロボットの位置・動作パターン制御や姿勢安定制御等のための計算量が指数関数的に増大してしまう。

【0015】このため、人体よりもはるかに少ない数十程度の関節自由度で人間型ロボットを構成するのが一般的である。したがって、少ない自由度を用いてより自然な動作を如何にして実現するかが、人間型ロボットの設計・制御において重要な課題の1つといえる。

【0016】例えば、脊椎などのように柔軟性を持つ機構が人間の生活の場で多様で複雑な動作をするために重要であることは、人間工学などの観点から既に明らかである。脊椎を意味する体幹関節自由度は、産業的な用途上は存在価値が低いが、エンターテインメントやその他の生活密着型の人間型ロボットには重要である。なお且つ、状況に応じて柔軟さを能動的に調節できることが求められている。

【0017】また、2足直立歩行を行う脚式移動ロボットは、柔軟な歩行・走行動作（例えば階段の昇降や障害物の乗り越え等）を実現できる点で優れている反面、脚の本数が少なくなるとともに、重心位置が高くなるため、その分だけ姿勢制御や安定歩行制御が難しくなる。特に、生活密着型のロボットの場合、ヒトやサルなどの知性動物における自然な動作や感情を豊かに表現しながら全身の姿勢や安定歩行を制御しなければならない。

【0018】2足歩行による脚式移動を行うタイプのロボットに関する姿勢制御や安定歩行に関する技術は既に数多提案されている。ここで言う安定な「歩行」とは、「転倒することなく、脚を使って移動すること」と定義することができる。

【0019】ロボットの姿勢安定制御は、ロボットの転倒を回避する上で非常に重要である。何故ならば、転倒は、ロボットが実行中の作業を中断することを意味し、且つ、転倒状態から起き上がって作業を再開するために相当の労力や時間が払われるからである。また、何よりも、転倒によって、ロボット本体自体、あるいは転倒するロボットと衝突する相手側の物体にも、致命的な損傷を与えてしまう危険があるからである。したがって、脚式移動ロボットの設計・開発において、姿勢安定制御や

歩行時の転倒防止は最も重要な課題の1つである。

【0020】歩行時には、重力と歩行運動に伴って生じる加速度によって、歩行系から路面には重力と慣性力、並びにこれらのモーメントが作用する。いわゆる「ダランベールの原理」によると、それらは路面から歩行系への反作用としての床反力、床反力モーメントとバランスする。力学的推論の帰結として、足底接地点と路面の形成する支持多角形の辺上あるいはその内側にピッチ及びロール軸モーメントがゼロとなる点、すなわち「ZMP (Zero Moment Point)」が存在する。

【0021】脚式移動ロボットの姿勢安定制御や歩行時の転倒防止に関する提案の多くは、このZMPを歩行の安定度判別の規範として用いている。ZMP規範に基づく2足歩行パターン生成は、足底着地点を予め設定でき、路面形状に応じた足先の運動学的拘束条件を考慮し易いなどの利点がある。

【0022】例えば、特開平5-305579号公報には、脚式移動ロボットの歩行制御装置について開示している。同公報に記載の歩行制御装置は、ZMP (Zero Moment Point) すなわち歩行するときの床反力によるモーメントがゼロとなる床面上の点を目標値に一致させるように制御するものである。

【0023】また、特開平5-305581号公報に記載の脚式移動ロボットは、ZMPが支持多面体（多角形）内部、又は、着地、離床時にZMPが支持多面体（多角形）の端部から少なくとも所定の余裕を有する位置にあるように構成した。この結果、外乱などを受けても所定距離だけZMPの余裕があり、歩行の安定性の向上を図ることができる。

【0024】また、特開平5-305583号公報には、脚式移動ロボットの歩き速度をZMP目標位置によって制御する点について開示している。すなわち、同公報に記載の脚式移動ロボットは、予め設定された歩行パターン・データを用い、ZMPを目標位置に一致させるように脚部関節を駆動するとともに、上体の傾斜を検出して、その検出値に応じて設定された歩行パターン・データの吐き出し速度を変更するようにしている。この結果、予期しない凹凸を踏んでロボットが例えば前傾するときは吐き出し速度を速めることで姿勢を回復できる。またZMPが目標位置に制御できるので、両脚支持期において吐き出し速度を変更しても支障がない。

【0025】また、特開平5-305585号公報には、脚式移動ロボットの着地位置をZMP目標位置によって制御する点について開示している。すなわち、同公報に記載の脚式移動ロボットは、ZMP目標位置と実測位置とのずれを検出して、それを解消する様に脚部の一方または双方を駆動するか、又は、ZMP目標位置まわりにモーメントを検出してそれが零になる様に脚部を駆動することで安定歩行を行うようになっている。

【0026】また、特開平5-305586号公報には、脚式移動ロボットの傾斜姿勢をZMP目標位置によって制御する点について開示している。すなわち、同公報に記載の脚式移動ロボットは、ZMP目標位置まわりのモーメントを検出し、モーメントが生じているときは、それが零になるように脚部を駆動することで安定歩行を行うようになっている。

【0027】歩行ロボットの転倒という事態を未然に回避するためには最大限の努力を払うべきである。しかしながら、とりわけ脚の本数が少ない2足歩行ロボットの場合、研究段階からようやく実用化の第1歩を踏み出そうという状況下にあるに過ぎず、転倒の可能性を完全に消去することはできない。

【0028】したがって、転倒を未然に防ぐ対策を講じるだけではなく、転倒時の損害を最小限に抑えようとするとともに、転倒後の作業の復旧、すなわちロボットの起き上がり若しくは立ち上がり動作の信頼性を向上させることが、脚式歩行ロボットの早期実用化のためには肝要である。

【0029】ロボットが様々な障害物や不測の事態を包含する人間の住環境下で動作する上で、「転倒」は不可避である。そもそも人間自体が転倒するものである。したがって、ロボットが転倒した状態から自律的に起き上がる動作パターンを備えることが脚式移動ロボットの完全自動化を実現するための必須の条件である、と言っても過言ではない。

【0030】例えば特開平11-48170号公報には、脚式移動ロボットの転倒の問題に関して取り扱っている。しかしながら、同公報は、転倒しそうな状況において、ロボットの重心を下げるように制御することによって、ロボットやロボットが衝突する相手側の物体の損傷を可能な限り軽減することを提案するものであり、転倒後の作業の復旧、すなわちロボットの起き上がり若しくは立ち上がり動作の信頼性を向上させる点については全く言及していない。

【0031】また、ひとえにロボットが「転倒する」といっても、転倒した姿勢は様々である。例えば2足の脚式移動ロボットの場合、うつ伏せ、仰向け、横向きなど複数の転倒状態がある。一部の転倒姿勢からしか起き上がることができない（例えばうつ伏せ状態からしか起き上がらない）というのでは、自律的な起き上がりやロボットの完全自動化を標榜するには不十分である。

【0032】例えば図35に示すような脚式移動ロボットについて考察してみる。同図に示すロボットは、2足による直立歩行を行う人間型ロボットであり、頭部と、体幹部と、下肢部と、上肢部とで構成される。脚部は歩行に必要な自由度を有し、腕部は想定される作業において必要な自由度を備えるものとする。例えば、各脚部は6自由度を有し、各腕部は4自由度を有する。また、体幹部は、脚部や腕部、頭部を連結する、構造体の中心で

ある。但し、図示に示すロボットの場合、体幹部に自由度を全く持たない。

【0033】一般に、脚式移動ロボットにおける歩行は、脚部の着床面と、重心あるいは動的なモーメントの中心点の相対的な移動を行うことによって実現される。2足歩行のロボットの場合であれば、左右の脚を交互に立脚と遊脚に切り替えることで、所定方向への移動を行う。このとき、基本的には、体重心あるいは動的なモーメントの中心を立脚側へ移動し、また、所定の進行方向にそれを移動させることが必要となる。これらの動作は、脚式移動ロボットにおいては、各部の関節自由度による協調的な駆動によって実現される。図35に示すような両脚にそれぞれ6自由度又はそれ以上の自由度を有する脚式移動ロボットの場合、脚の自由度のみによって、歩行時における体重心又は動的モーメントの中心を移動させることが可能である。

【0034】図36には、図35に示した脚式移動ロボットが直立している状態を示している。このような直立状態では、体正面方向から見たロボットの重心位置は両脚の中心部上にあり、ZMPは両足着床部の略中間の姿勢安定領域内にある。

【0035】また、図37には、この脚式移動ロボットが歩行のために重心を片脚（同図に示す例では左脚）に移動させた状態を示している。すなわち、左股関節部及び左足首関節部のロール方向変位や、これに相応する右股関節部及び右足首関節部のロール方向変位を主成分とする運動によって、ロボットの重心が左脚側に移動して、ZMPが左足の着床領域内に移動する。この結果、ロボットは、左脚のみで全体重を支えることが可能な姿勢を形成する。また、遊脚となった右脚を所望の進行方向に踏み出すことで、歩行を行うことができる。

【0036】主に歩行を想定した2足脚式移動ロボットの場合、自由度の配置によっては脚部に配置される自由度のみでも歩行が可能であり、実機上でもこのような歩行動作パターンが採用されることが多い。さらに、ロボットが行う作業のために、腕部や手部に別途自由度が配置されているのが一般的である。また、頭部についても、視覚認識等を目的とする自由度を有することが多い。

【0037】これに対し、体幹部については、歩行や作業等のロボットが主目的とする動作パターンに必須の自由度とは言えない。このため、現在実用化に向けて開発されている脚式移動ロボットのほとんどは、図35に示したように体幹部に自由度を備えていない（前述）。

【0038】ここで、図35に示すような体幹部に自由度を備えていないタイプの脚式移動ロボットに関する転倒時起き上がり動作について考察してみる。

【0039】例えば図38に示すようなうつ伏せ姿勢から起き上がる場合、まず、両腕部及び両股関節のピッチ軸等を駆動させて、着床部分を腕部と脚部（膝部）だけ

にし、次いで、両着床部の相対的距離を徐々に近付けることにより、ロボットの重心を持ち上げていく（図39を参照のこと）。

【0040】また、重心を持ち上げるのと同時に足部を前方に移動させる（図40を参照のこと）。この結果、重心が足部着床領域の上空に移動して、ZMPが着床領域すなわち姿勢安定領域に突入して、腕部を床面から離すことが可能となる（図41を参照のこと）。さらに、脚部（膝関節部）を伸展させて重心を持ち上げることによって、起き上がり動作が完結する（図42を参照のこと）。

【0041】しかしながら、実際には、各関節の可動角度や部位間の干渉などの問題のために、重心の移動を充分に行うことができないことが多い。例えば、上記の図40から図41へ姿勢を移行させる際、腕を接地させたままでは、膝を十分に畳み込むことができず、ZMPを足部の着床領域まで移動させることができない。無理にZMPの移動を試みると、ZMPが安定領域に突入する前に腕部が先に離床してしまい、うまく起き上がることができない。

【0042】また、図43に示すように脚式移動ロボットが仰向け姿勢で転倒してしまった場合、ロボットが自律的に、すなわち外部からの物理的な補助なしに起き上がることはさらに困難となる。

【0043】仰向け姿勢から起き上がり動作を行う場合、まず、脚部と腕部で床面に接地する姿勢をとることで、重心を上方に持ち上げる（図44を参照のこと）。次いで、着床している足部と腕部との相対的距離を徐々に小さくしていく（図45を参照のこと）。

【0044】足部と腕部との相対的距離が充分小さくなると、ロボットの重心位置を足部着床領域上空まで移動することができる（図46を参照のこと）。この状態では、ZMPが足部すなわち姿勢安定領域内に入っているため、腕部を床面から離すとともに、脚部すなわち膝部を伸展させることによって重心をさらに持ち上げることで、起き上がり動作が完結する（図47を参照のこと）。

【0045】しかしながら、実際には、うつ伏せ姿勢から起き上がる場合と同様に、各関節の可動角度や部位間の干渉などの問題のために、重心の移動を充分に行うことができないことが多い。例えば、上記の図45から図46へ姿勢を移行させる際、腕を接地させたままでは、膝を十分に畳み込むことができず、ZMPを足部の着床領域まで移動させることができない。無理にZMPの移動を試みると、ZMPが安定領域に突入する前に腕部が先に離床してしまい、うまく起き上がることができない。

【0046】図38～図42で示したうつ伏せ姿勢からの起き上がり動作、及び、図43～図47で示した仰向け姿勢からの起き上がり動作のいずれの場合も、股関節

部における体前面側への可動角度を拡張することにより、図40及び図41、並びに、図46及び図47に示すボトルネックを解消することができる。しかしながら、実機の脚式移動ロボットにおいて股関節部の可動角度を大きくするためには、体幹部及びその周辺の部材との干渉が発生してしまうので、現実的な解決策とは言い難い。

【0047】また、上述したうつ伏せ及び仰向けいずれの姿勢からの起き上がり動作パターンの場合も、足部を極端に重く構成することによって、脚式移動ロボット全体の重心位置を足部付近に設定すれば、図41や図47において腕部が先に離床してしまう場合であっても、ZMPを姿勢安定領域に移動させることができる。ダルマが自然に起き上がるのと同様の原理である。

【0048】ロボットの重心が常に歩行中の足底の接地範囲にある「静歩行」を行うロボットの場合であれば、ダルマのように全体の重心位置が足部のような低所にあっても、安定歩行動作を確保することができる。

【0049】これに対し、ロボットの重心が足底の外に外れるような「動歩行」を行うタイプのロボットの場合、歩行期間中は転倒方向に支持点を強く加速することで姿勢回復を図るという「倒立振り子」の概念を導入される。すなわち、動歩行型のロボットの場合、動的な重心移動を可能にするために、重心位置を比較的高所になるように、脚部は状態に対して比較的軽量に設計されている。逆に脚部の質量が大きいと、円滑な重心移動が困難となり、歩行そのものに支障をきたす。略言すれば、ロボット全体の重心位置を低所に設定することは、動歩行時の姿勢安定制御が困難になるので、起き上がり動作を行う脚式移動ロボットの一般的解決にはなり得ない。

【0050】図38～図42、並びに、図43～図47を参照しても判るように、体幹部に自由度がないタイプの脚式移動ロボットの場合、腕部、頭部等と脚部との相対的位置の可変量が小さいので、いずれの転倒姿勢からも起き上がることは困難となる。

【0051】他方、ロボットの体幹部を極端に短く構成することにより、あるいは、腕部を極端に長く構成することによって、腕部と脚部との相対的位置の可変量を拡張することができる。この結果、図41や図47に示すようなZMPが姿勢安定領域に入る前に腕部が離床してしまうという現象を解消して、起き上がり動作を実現することができる。

【0052】しかしながら、体幹部を短くしたり、腕部を長くすることは、人間型ロボットの四肢若しくは全身の均整を失うことになり、「人間形」若しくは「人間型」を目指す趣旨から逸脱してしまう。

【0053】また、本出願時における脚式移動ロボットの動向として、ロボット自身の制御ユニットを背面部に搭載することが多い。したがって、仰向けに転倒した場合には、重心位置が背面側に大きく偏ってしまうため、

仰向け姿勢からの起き上がり動作はさらに困難になると想到される(図48を参照のこと)。

【0054】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、ヒトやサルなどの脚式移動型動物の身体メカニズムをモデル化した、優れた脚式移動型ロボットのメカニズムを提供することにある。

【0055】本発明の更なる目的は、歩行動作など作業の最中に転倒してしまった場合であっても自力で起き上がることができる、優れた脚式移動型ロボット及びその制御メカニズムを提供することにある。

【0056】本発明の更なる目的は、転倒してしまい様々な姿勢若しくは格好で横たわっている場合であっても自律的に起き上がり、転倒により中断した作業を自動的に再開することができる、優れた脚式移動型ロボット及びその制御方法メカニズムを提供することにある。

【0057】本発明の更なる目的は、うつ伏せ、仰向け、横向きなど様々な転倒姿勢からも自律的に確実且つ円滑に起き上がることができる、優れた脚式移動型ロボット及びその制御メカニズムを提供することにある。

【0058】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を参照してなされたものであり、その第1の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設された上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、転倒時の姿勢を判定する手段と、転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットである。

【0059】また、本発明の第2の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、転倒時の姿勢を判定する手段と、転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットである。

【0060】また、本発明の第3の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、転倒時に少なくとも前記体幹部の可動自由度の変位を伴う起き上がり動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットである。

【0061】本発明の第3の側面に係る脚式移動ロボットにおいて、前記体幹部は少なくともピッチ軸方向の可動自由度を有し手もよい。この場合、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ピッチ軸方向の可動自由度を利用することができる。

【0062】あるいは、前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有し手もよい。この場合、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することができる。

【0063】あるいは、前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有し手もよい。この場合、前記起き上がり動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することができる。

【0064】また、本発明の第4の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットであって、転倒したか否かを判断する転倒判断手段と、転倒時の姿勢を判定する手段と、転倒時に他の転倒姿勢に移行するための動作パターンを実行する手段と、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットである。

【0065】本発明の第4の側面に係る脚式移動ロボットにおいて、前記体幹部は少なくともビッチ軸方向の可動自由度を有してもよい。この場合、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ビッチ軸方向の可動自由度を利用することができる。

【0066】あるいは、前記体幹部は少なくともヨー軸方向の可動自由度を有してもよい。この場合、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ヨー軸方向の可動自由度を利用することができる。

【0067】あるいは、前記体幹部は少なくともロール軸方向の可動自由度を有してもよい。この場合、他の転倒姿勢に移行するための前記動作パターンは該体幹部ロール軸方向の可動自由度を利用することができる。

【0068】また、本発明の第5の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して腕部及び脚部のみで着床する姿勢を形成するステップと、少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して脚式移動ロボットの重心を上方に持ち上げるステップと、少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して腕部及び脚部それぞれの着床部分における相対的位置を小さくするステップと、腕部及び脚部それぞれの着床部分同士が充分接近した結果、前記脚式移動ロボットのZMPが足部着床領域に入ったことに応答して、全身の伸展を開始するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0069】また、本発明の第6の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが仰向け姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも股関節ピッチ軸

の可動自由度を利用して上体を起こした姿勢を形成するステップと、少なくとも体幹部ピッチ軸の可動自由度を利用して脚式移動ロボットの重心を前方に移動させるステップと、前記重心が充分前方に移動した結果、前記脚式移動ロボットのZMPが足部着床領域に入ったことに応答して、全身の伸展を開始するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0070】また、本発明の第7の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが横転姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも体幹部ヨー軸の可動自由度を利用してうつ伏せ姿勢に移行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0071】また、本発明の第8の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが横転姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、体幹部ロール軸の可動自由度を利用して上体を床面から浮かすステップと、体幹部ヨー軸の可動自由度を利用してうつ伏せ姿勢に移行するステップと、を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0072】また、本発明の第9の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが仰向け姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、少なくとも体幹部ヨー軸の可動自由度を利用して横転姿勢に移行するステップを具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0073】また、本発明の第10の側面は、少なくとも下肢と、該下肢の上方に配設されて体幹部に所定の可動自由度を持つ上体とで構成され、下肢の運動により移動自在な脚式移動ロボットが転倒姿勢に陥ったときのための動作制御方法であって、(a) 仰向け姿勢から横転姿勢に移行するステップ、(b) 横転姿勢からうつ伏せ姿勢に移行するステップ、(c) うつ伏せ姿勢から横転姿勢に移行するステップ、(d) 横転姿勢から仰向け姿勢に移行するステップ、のうち少なくとも1つを具備することを特徴とする脚式移動ロボットの動作制御方法である。

【0074】

【作用】本発明に係る脚式移動ロボットは、体幹部においてロール、ピッチ、ヨーなどの各軸に自由度を有する。任意の転倒姿勢において、これら体幹部の自由度を活用することにより、円滑且つ容易に起き上がり動作を実現することができる。

【0075】本発明に係る脚式移動ロボットによれば、起き上がり動作時において体幹部の自由度を適用することにより、体幹部以外の可動部への負担や要求トルクが軽減される。また、荷重負担を各可動部間で分散・平均化することで、特定部位への集中荷重を回避することができる。この結果、ロボット運用の信頼性を向上するとともに、起き上がり動作期間中のエネルギー効率が向上する。

【0076】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、複数の転倒姿勢を順次移行させることにより、より容易な起き上がり動作を選択的に実行することができる。

【0077】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、複数の転倒姿勢を順次繰り返すことにより、起き上がることなく平面的な移動を実現することができる。この結果、より容易に立ち上がることができる場所まで移動してから起き上がり動作を実行することができる。

【0078】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、転倒姿勢を変化させることができるので、サポートしなければならない起き上がり動作パターンの種類や数を低減することができる。

【0079】例えば、ロボットがあらかじめ起き上がり動作パターンを用意しておくような場合、動作パターン数の減少により開発期間の短縮や開発コストの軽減が可能となる。また、動作パターン数の減少により、ハードウェアの負担も軽減されるので、その分システムの向上が見込まれる。

【0080】また、ロボットが状況に応じた動作パターンを自律的に生成するような場合には、生成すべき動作パターン数が減少することにより、ロボット自体に搭載すべき演算装置の負担が軽減され、装置製作コストの削減や、ロボット運転時における信頼性の向上などが見込まれる。

【0081】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、転倒姿勢を変化させることで起き上がり動作パターンを限定することができる。この結果、起き上がり動作のために必要な各アクチュエータの出力トルクや動作範囲などへの要求が軽減される。この結果、設計の自由度が向上するとともに、開発期間の短縮や製作コストの削減などを実現することができる。

【0082】また、転倒姿勢を変化させることで起き上がり方法を限定することができるので、起き上がり動作期間中におけるロボットの消費電力を節約し、バッテリーなどの供給電源への負荷を少なくすることができる。この結果、バッテリー駆動時間が延長し、1回の充電でより長時間の連続運転が可能となり、ロボットの作業時間、作業空間、作業内容等が拡大する。また、必要なバッテリー容量も低減するので、バッテリーの小型・軽量化が可能となり、設計の自由度が向上する。また、バッテリーの要求仕様が軽減するので、バッテリー単価を安価に抑え、シ

ステム全体の製作コストや運転コストを節約することができる。

【0083】本発明のさらに他の目的、特徴や利点は、後述する本発明の実施例や添付する図面に基づくより詳細な説明によって明らかになるであろう。

【0084】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施例を詳解する。

【0085】図1及び図2には本発明の実施に供される「人間形」又は「人間型」の脚式移動ロボット100が直立している様子を前方及び後方の各々から眺望した様子を示している。図示の通り、脚式移動ロボット100は、脚式移動を行う左右2足の下肢と、体幹部と、左右の上肢と、頭部と、制御部とで構成される。

【0086】左右各々の下肢は、大腿部と、膝関節と、脛部と、足首と、足平とで構成され、股関節によって体幹部の略最下端にて連結されている。また、左右各々の上肢は、上腕と、肘関節と、前腕とで構成され、肩関節によって体幹部の上方の左右各側縁にて連結されている。また、頭部は、首関節によって体幹部の略最上端中央に連結されている。

【0087】制御部は、この脚式移動ロボット100を構成する各関節アクチュエータの駆動制御や各センサ（後述）などからの外部入力処理するコントローラ（主制御部）や、電源回路その他の周辺機器類を搭載した筐体である。制御部は、その他、遠隔操作の通信インターフェースや通信装置を含んでいてもよい。また、図1及び図2に示す例では、脚式移動ロボット100が制御部を背中に背負うような格好となっているが、制御部の設置場所は特に限定されない。

【0088】本実施例に係る脚式移動ロボット100の特徴の1つとして、体幹部が関節自由度を備えている点である。脚式移動ロボット100が人間と共存する上では、脊椎などのように柔軟性を持つ機構が人間の住環境・住空間において多様で複雑な動作をするために重要である（前述）。この体幹部の関節自由度は、人間で言えば「脊椎」に相当する。

【0089】図3及び図4には、脚式移動ロボット100の体幹部の構成を拡大して描いている。

【0090】同図に示すように、体幹部関節は、体幹部ロール軸、体幹部ピッチ軸、及び、体幹部ヨー軸という3つの関節自由度を備えている。例えば、体幹部ロール軸の駆動により、脚式移動ロボット100の上体を、下肢に対して左右に振ることができる。また、体幹部ピッチ軸を駆動することにより、脚式移動ロボット100の姿勢を矢状面において「くの字」状に屈曲させることができる。また、体幹部ヨー軸の駆動により、脚式移動ロボットの上体が下肢に対して相対的に回転し、体を捻らせた格好を形成することができる。

【0091】また、図5には、この脚式移動ロボット1

00が具備する関節自由度構成を模式的に示している。

【0092】図5に示すように、脚式移動ロボット100は、2本の腕部と頭部1を含む上体と、移動動作を実現する2本の脚部からなる下肢と、上肢と下肢とを連結する体幹部とで構成される。

【0093】頭部1を支持する首関節は、首関節ヨー軸2と、首関節ピッチ軸3と、首関節ロール軸4という3自由度を有している。

【0094】また、各腕部は、肩関節ピッチ軸8と、肩関節ロール軸9と、上腕ヨー軸10と、肘関節ピッチ軸11と、前腕ヨー軸12と、手首関節ピッチ軸13と、手首関節ロール軸14と、手部15とで構成される。手部15は、実際には、複数本の指を含む多関節・多自由度の構造体である。但し、手部15の動作自体は、ロボット100の姿勢安定制御や歩行動作制御に対する寄与や影響が少ないので、本実施例ではゼロ自由度と仮定する。したがって、本実施例では、各腕部は7自由度を有することになる。

【0095】また、体幹部は、体幹部ピッチ軸5と、体幹部ロール軸6と、体幹部ヨー軸7という3自由度を有する（前述、並びに、図3及び図4を参照のこと）。

【0096】また、下肢を構成する各々の脚部は、股関節ヨー軸16と、股関節ピッチ軸17と、股関節ロール軸18と、膝関節ピッチ軸19と、足首関節ピッチ軸20と、関節ロール軸21と、足部（足底）22とで構成される。股関節ピッチ軸17と股関節ロール軸18の交点は、本実施例に係るロボット100の股関節位置を定義するものとする。人体の足部（足底）22は、実際には多関節・多自由度の足底を含んだ構造体であるが、本実施例に係る脚式移動ロボット100の足底はゼロ自由度とする。したがって、本実施例では、各脚部は6自由度で構成されている。

【0097】以上を総括すれば、本実施例に係る脚式移動ロボット100全体としては、合計で $3 + 7 \times 2 + 3 + 6 \times 2 = 32$ 自由度を有することになる。但し、エンターテインメント向けの脚式移動ロボット100が必ずしも32自由度に限定される訳ではない。設計・製作上の制約条件や要求仕様等に応じて、自由度すなわち関節数を適宜増減することができることは言うまでもない。

【0098】上述したような脚式移動ロボット100が持つ各自由度は、実際にはアクチュエータを用いて実装される。外観上で余分な膨らみを排してヒトの自然体形状に近似させること、2足歩行という不安定構造体に対して姿勢制御を行うことなどの要請から、アクチュエータは小型且つ軽量であることが好ましい。本実施例では、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニットに内蔵したタイプの小型ACサーボ・アクチュエータを搭載することとした。なお、この種のACサーボ・アクチュエータに関しては、例えば本出願人に既に譲渡されている特願平11-33386号明細

書に開示されている。

【0099】図5に示すような自由度構成を備えた脚式移動ロボット100は、転倒することを予め想定し、ほとんど全ての転倒姿勢からの復帰すなわち起き上がり動作を可能等するような配置を有している（詳しくは後述を参照されたい）。したがって、各可動部の出力トルクも転倒姿勢からの復帰動作を勘案した仕様に設定しておくことが好ましい。

【0100】図6には、脚式移動ロボット100の制御システム構成を模式的に示している。同図に示すように、脚式移動ロボット100は、人間の四肢を表現した各機構ユニット30、40、50R/L、60R/Lと、各機構ユニット間の協調動作を実現するための適応制御を行う制御ユニット80とで構成される（但し、R及びLの各々は、右及び左の各々を示す接尾辞である。以下同様）。

【0101】脚式移動ロボット100全体の動作は、制御ユニット80によって統括的に制御される。制御ユニット80は、CPU（Central Processing Unit）チップやメモリ・チップ等の主要回路コンポーネント（図示しない）で構成される主制御部81と、電源装置やロボット100の各構成要素とのデータやコマンドの授受を行うインターフェース（いずれも図示しない）などを含んだ周辺回路82とで構成される。

【0102】本実施例では、電源装置は、脚式移動ロボット100を自立的に駆動するためのバッテリーを含んだ構成（図4には図示しない）となっている。自立駆動型であれば、脚式移動ロボット100の物理的な行動半径は、電源ケーブルによる制限を受けず、自由に歩行することができる。また、歩行やその他の上肢を含めた各種の運動時に、電源ケーブルとの干渉を考慮する必要がなくなり、動作制御が容易になる。

【0103】図5に示した脚式移動ロボット100内の各関節自由度は、それぞれに対応するアクチュエータによって実現される。すなわち、頭部ユニット30には、首関節ヨー軸2、首関節ピッチ軸3、首関節ロール軸4の各々を表現する首関節ヨー軸アクチュエータA2、首関節ピッチ軸アクチュエータA3、首関節ロール軸アクチュエータA4がそれぞれ配設されている。

【0104】また、体幹部ユニット40には、体幹部ピッチ軸5、体幹部ロール軸6、体幹部ヨー軸7の各々を表現する体幹部ピッチ軸アクチュエータA5、体幹部ロール軸アクチュエータA6、体幹部ヨー軸アクチュエータA7がそれぞれ配備されている。

【0105】また、腕部ユニット50R/Lは、上腕ユニット51R/Lと、肘関節ユニット52R/Lと、前腕ユニット53R/Lに細分化されるが、肩関節ピッチ軸8、肩関節ロール軸9、上腕ヨー軸10、肘関節ピッチ軸11、肘関節ロール軸12、手首関節ピッチ軸1

3、手首関節ロール軸14の各々を表現する肩関節ピッチ軸アクチュエータA8、肩関節ロール軸アクチュエータA9、上腕ヨー軸アクチュエータA10、肘関節ピッチ軸アクチュエータA11、肘関節ロール軸アクチュエータA12、手首関節ピッチ軸アクチュエータA13、手首関節ロール軸アクチュエータA14がそれぞれ配備されている。

【0106】また、脚部ユニット60R/Lは、大腿部ユニット61R/Lと、膝ユニット62R/Lと、脛部ユニット63R/Lに細分化されるが、股関節ヨー軸16、股関節ピッチ軸17、股関節ロール軸18、膝関節ピッチ軸19、足首関節ピッチ軸20、足首関節ロール軸21の各々を表現する股関節ヨー軸アクチュエータA16、股関節ピッチ軸アクチュエータA17、股関節ロール軸アクチュエータA18、膝関節ピッチ軸アクチュエータA19、足首関節ピッチ軸アクチュエータA20、足首関節ロール軸アクチュエータA21がそれぞれ配備されている。

【0107】各アクチュエータA2、A3…は、より好ましくは、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニット内に搭載したタイプの小型ACサーボ・アクチュエータ（前述）である。

【0108】頭部ユニット30、体幹部ユニット40、腕部ユニット50、各脚部ユニット60などの各機構ユニット毎に、アクチュエータ駆動制御用の副制御部35、45、55、65がそれぞれ配備されている。さらに、各脚部60R、Lの足底が着床したか否かを検出する接地確認センサ91及び92を装着するとともに、体幹部ユニット40内には、姿勢を計測する姿勢センサ93を装備している。これら各センサ91～93の出力により、足底22の着床及び離床期間、体幹部分の傾きなどを検出して、制御目標をダイナミックに補正することができる。

【0109】主制御部80は、各センサ91～93の出力にตอบสนองして副制御部35、45、55、65の各々に対して適応的な制御を行い、脚式移動ロボット100の上肢、体幹、及び下肢の協調した動作を実現することができる。主制御部81は、ユーザ・コマンド等に従って所定の動作パターンを呼び出して、足部運動、ZMP（Zero Moment Point）軌道、体幹運動、上肢運動、腰部高さなどを設定するとともに、これらの設定内容に従った動作を指示するコマンド（すなわちアクチュエータへの指示データ）を各副制御部35、45、55、65に転送する。そして、各々の副制御部35、45…では、主制御部81からの受信コマンドを解釈して、各アクチュエータA2、A3…に対して駆動制御信号を出力する。

【0110】ここで言う「ZMP」とは、歩行中の床反力によるモーメントがゼロとなる床面上の点のことであり、また、「ZMP軌道」とは、例えばロボット100

の歩行動作期間中などにZMPが動く軌跡を意味する。

【0111】なお、脚式移動ロボット100は、自律駆動型又は遠隔操作型のいずれであってもよい。後者の場合、図6には図示しない通信インターフェース及び外部制御装置との通信手段（例えばEthernetなどの有線又は無線LAN）を含み、主制御部80ではなく、外部制御装置から供給される指示値によって各アクチュエータA₂、A₃…の駆動制御やセンサ出力の処理を行うことができる。

【0112】次に、この脚式移動ロボット100における転倒時の動作や処理の手順について説明する。図7には、脚式移動ロボット100の転倒時における動作手順をフローチャートの形式で概略的に示している。

【0113】主制御部80は、姿勢センサ93などの各センサ出力を基に、通常の姿勢を逸脱して転倒に至ったことを検出し又は判定する（ステップS11）。例えば、計画していた姿勢と実際の姿勢の差や、足底の設置確認センサ91及び92によって自身が転倒したことを判定することができる。

【0114】脚式移動ロボット100の転倒時における一般的な姿勢は、「うつ伏せ」、「仰向け」、又は「横向き」のうちのいずれかに該当する。姿勢センサ93の出力により、姿勢センサ取り付け部位における重力方向に対する方向を検出することができる。併せて、脚式移動ロボット100自身の各関節自由度における変位角度を測定することによって、自分自身の転倒時の姿勢を判断することができる（ステップS12）。

【0115】転倒時の姿勢が判定されると、主制御部80は、うつ伏せ、仰向け、横転などの各転倒姿勢に応じた起き上がり動作パターンを呼び出し、あるいは演算処理によって起き上がり動作パターンを生成する（ステップS13）。

【0116】そして、取得した起き上がり動作パターンに応じて、足部運動、ZMP（Zero Moment Point）軌道、体幹運動、上肢運動、腰部高さなどを設定するとともに、これらの設定内容に従った動作を指示するコマンド（すなわちアクチュエータへの指示データ）を各副制御部35、45、55、65に転送する（ステップS14）。

【0117】この結果、各アクチュエータA₂、A₃…は同期的に駆動して、脚式移動ロボット100は起き上がりのための全身協調動作を実行する（ステップS15）。

【0118】転倒している脚式移動ロボット100において必要な起き上がり動作パターンは、当然ながら、転倒している姿勢によって区々であるが、この点は後述で詳解する。

【0119】脚式移動ロボット100が自律駆動型であれば、主制御部80において、転倒の判断、転倒姿勢の判定、起き上がり動作パターンの設定、及び、起き上が

り動作の制御の全てを行う必要がある。但し、脚式移動ロボット100が遠隔操作型であれば、ロボット100の転倒判断、転倒姿勢の判定、起き上がり動作パターンの生成などを外部装置上で処理し、これらの処理に基づいた指示値をLAN（例えばEthernetやBluetooth）などの通信手段を介して受け取って駆動することができる。

【0120】次いで、本実施例に係る脚式移動ロボット100が各種の転倒姿勢から起き上がるための動作手順について詳解する。本実施例では、体幹部に設けられたピッチ軸まわりの可動部すなわちアクチュエータA₅を活用することによって柔軟な重心移動を可能とし、以って起き上がり動作を実現するという点を充分理解されたい。

【0121】（1）うつ伏せ状態からの起き上がり
図8～図13には、本実施例に係る脚式移動ロボット100がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を図解している。

【0122】図8には、脚式移動ロボット100がうつ伏せの姿勢で床面に転倒した直後の状態を示している。このような転倒状態で、主制御部80は、姿勢センサ93などの各センサ出力を基にして、通常の姿勢を逸脱して転倒に至ったことを検出し又は判定する。

【0123】さらに、主制御部80は、姿勢センサ93の出力により、姿勢センサ取り付け部位における重力方向に対する方向を検出するとともに、各関節自由度における変位角度を測定することによって、脚式移動ロボット100が現在「うつ伏せ」の姿勢で転倒状態にあることを判断することができる。

【0124】図9には、うつ伏せの転倒姿勢において脚式移動ロボット100が起き上がり動作を開始した様子を示している。

【0125】図8に示す転倒状態では、脚式移動ロボット100の重心位置は床面付近の最下位置にある。転倒状態から起き上がり、安定した直立姿勢に復帰するためには、まず重心位置を高い状態に戻す必要がある。図9に示す姿勢例では、腕部及び脚部で全身を支えながら、重心Gを徐々に上方に移動させている。このとき、脚式移動ロボット100は、主に、両肩関節ピッチ軸アクチュエータA₈、両肘関節ピッチ軸アクチュエータA₁₁、体幹部ピッチ軸アクチュエータA₅、股関節ピッチ軸アクチュエータA₁₇、膝部ピッチ軸アクチュエータA₁₉、及び足首関節ピッチ軸アクチュエータA₂₀の各々を変位させている。

【0126】図10では、主に、両肩関節ピッチ軸アクチュエータA₈、体幹部ピッチ軸アクチュエータA₅、股関節ピッチ軸アクチュエータA₁₇の変位をさらに大きくすることで、重心Gの位置をさらに上方に持ち上げている。また、腕部による着床部分と脚部による着床部分との距離を徐々に短くしている。同図に示す例では、腕部

の着床部分はその先端（手部）であり、脚部の着床部分は足平先端（つま先）になっているが、これらには特に限定されない。

【0127】図11では、腕部及び脚部各々の着床部分の距離をさらに短くして、この結果、重心Gを足平（すなわち姿勢安定領域）の上方に向かって移動させている。また、腕部の着床部分は、その先端（手先）だけになるとともに、脚部の着床部分は足平足底に移行する。主に、両肩関節ピッチ軸アクチュエータA₈、両肘関節ピッチ軸アクチュエータA₁₁、体幹部ピッチ軸アクチュエータA₅、両股関節ピッチ軸アクチュエータA₁₇、及び膝関節ピッチ軸アクチュエータA₁₉を駆動することにより、図11に示した姿勢から移行する。特に、体幹部ピッチ軸アクチュエータA₅及び膝関節ピッチ軸アクチュエータA₁₉を最大限の変位とし、体幹部及び膝部を可能な限り屈曲させて重心Gと足底までの距離を腕部の長さ以下とすることによって、両膝部を両腕部の間に挿入させることが可能となり、重心移動が円滑に行われる。

【0128】この結果、ZMP（Zero Point Moment）が足平の着床領域内に完全に収容されるので、腕部を床面から離すことが可能となる。〔従来の技術〕の欄で挙げた例では、ロボットが体幹部に自由度を持たないために、腕部と脚部を着床させた姿勢ではZMPを足部着床領域に移動させることが困難であった。本実施例では、体幹部がピッチ軸自由度を備えているので、図11に示すような姿勢が可能となる訳である。

【0129】図12では、腕部の先端を床面から離すとともに、両膝部ピッチ軸アクチュエータA₁₉を駆動して脚部を伸展することによって、重心Gをさらに上方に持ち上げていく様子を示している。主に、体幹部ピッチ軸アクチュエータA₅、両股関節ピッチ軸アクチュエータA₁₇、両膝部ピッチ軸アクチュエータA₁₉、足首ピッチ軸アクチュエータA₂₀を変位させている。

【0130】図13では、さらに重心Gを上方に持ち上げて、直立姿勢に近づいていく様子を示している。主に、体幹部ピッチ軸アクチュエータA₅、両股関節ピッチ軸アクチュエータA₁₇、両膝関節ピッチ軸アクチュエータA₁₉、両足首関節ピッチ軸アクチュエータA₂₀を変位させている。

【0131】以上、図8～図13を用いて説明したように、本実施例に係る脚式移動ロボット100によれば、うつ伏せの転倒姿勢から自律的に（すなわち外部からの物理的な支援なしに）起き上がることができる。起き上がり動作において、体幹部ピッチ軸の変位が重要な要素である、という点に充分留意されたい。

【0132】（2）仰向け状態からの起き上がり
図14～図20には、本実施例に係る脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を図解している。

【0133】図14には、脚式移動ロボット100が仰向けの姿勢で床面に転倒した直後の状態を示している。このような転倒状態で、主制御部80は、姿勢センサ93などの各センサ出力を基にして、通常の姿勢を逸脱して転倒に至ったことを検出し又は判定する。

【0134】図15では、転倒後、転倒姿勢を判断した脚式移動ロボット100が、仰向け姿勢からの起き上がり動作を開始した様子を示している。すなわち、主に両股関節ピッチ軸アクチュエータA₁₇を変位させて、相対的に上体を起こし、腰部によって着床するような姿勢を形成する。さらに、両肩関節ピッチ軸アクチュエータA₈を駆動させて、両腕部によって着床する準備を行う。

【0135】図16では、腰部が着床した状態でさらに脚部を変位させる様子を示している。より具体的には、両股関節ピッチ軸アクチュエータA₁₇、両膝部ピッチ軸アクチュエータA₁₉、両足首ピッチ軸アクチュエータA₂₀を動作させて、両足平の足底で着床する姿勢の準備を行う。

【0136】図17では、さらに、体幹ピッチ軸アクチュエータA₅を変位させると同時に、腕部と脚部各々の着床部分の距離を短くしていく。この結果、脚式移動ロボットの重心Gが上方に持ちあがり始めるとともに、ZMPが次第に脚部に向かって移動し始める。

【0137】図18では、さらに、腕部と脚部それぞれの着床部分の距離を短くすることで、ZMPを足部に寄せていく。さらに、両膝関節ピッチ軸アクチュエータA₁₉を駆動させて重心Gを持ち上げる。この結果、ZMPが足底着床領域内に突入するので、腕部と腰部を床面から離すことが可能となる。

【0138】本実施例に係る脚式移動ロボット100によれば、体幹が最大限に屈曲して前傾した姿勢を形成することにより、ZMPを足部に寄せ足底着床領域内に移行させることができる。すなわち、体幹部ピッチ軸アクチュエータA₅まわりの可動部を活用することで、腕部と腰部を離床させることができるという点を充分理解されたい。

【0139】図19では、腕部を離床させた後、伸展した姿勢を形成することによって、重心Gの位置をさらに持ち上げる。このとき、主に、両足首関節ピッチ軸アクチュエータA₂₀、両膝関節ピッチ軸アクチュエータA₁₉、両股関節ピッチ軸アクチュエータA₁₇、体幹関節ピッチ軸アクチュエータA₅を駆動させる。

【0140】図20では、さらに脚部を伸展させることで重心Gを上方に持ち上げて、直立姿勢に近づいていく様子を示している。主に、体幹部ピッチ軸アクチュエータA₅、両股関節ピッチ軸アクチュエータA₁₇、両膝関節ピッチ軸アクチュエータA₁₉、両足首関節ピッチ軸アクチュエータA₂₀を変位させている。

【0141】仰向けという姿勢は、一般には、脚式移動ロボットが起き上がりにくい転倒状態の1つである。本

実施例に係る脚式移動ロボット100によれば、体幹部のピッチ軸まわりの可動部を利用することにより、図15～図20に示す一連の動作パターンに従って、円滑に起き上がることができる。すなわち、体幹部に1以上の可動自由度を設けることにより、転倒姿勢からの起き上がり動作が可能となり又は容易化する。

【0142】なお、仰向け姿勢からの起き上がり動作は、上述したような体前面方向へ起き上がる動作パターン以外にも、さらに横転して姿勢を変えてから起き上がる動作パターンが想到される。後者に関しては後に詳解する。

【0143】(3) 横転状態からの起き上がり
脚式移動ロボット100が横転した姿勢から直接起き上がることが困難であっても、例えば、横転姿勢からうつ伏せ又は仰向けなど起き上がり動作が可能な状態に一旦変換することによって、上述したいずれかの動作パターンに従って転倒状態から直立状態まで復帰することが可能である。ここでは、横転状態からうつ伏せ状態に自律的に変換するための動作手順について説明する。本明細書で扱う横転状態は左右対称であると理解されたい（以下同様）。

【0144】図21～図26には、本実施例に係る脚式移動ロボット100が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を図解している。この起き上がり動作パターンは、基本的には、体幹部ヨー軸まわりの可動部を利用することで転倒姿勢をうつ伏せ状態に変化させるものである。

【0145】図21には、脚式移動ロボット100が横転姿勢で床面に転倒した直後の状態を示している。このような転倒状態で、主制御部80は、姿勢センサ93などの各センサ出力を基にして、通常の姿勢を逸脱して転倒に至ったことを検出し又は判定する。

【0146】図22では、自身が横転していると判断した脚式移動ロボット100が、うつ伏せ姿勢に移行するための動作パターンを開始した様子を示している。より具体的には、左肩関節のピッチ軸アクチュエータA8等を変位させて、左腕部を体前面側に移動させて、重心Gの変位を試みている。

【0147】図23では、体幹部ヨー軸アクチュエータA7を回転させて、上体をうつ伏せの姿勢に近付けている。また、同時に左股関節ピッチ軸アクチュエータA17を変位させて、左腕部全体を体前面側に移動させて、重心Gを紙面手前側に移動させている。

【0148】図24では、体幹部ヨー軸アクチュエータA7と左股関節ピッチ軸アクチュエータA17の回転を継続させた結果として、左腕部が着床し、さらにうつ伏せの姿勢に近付いている。

【0149】図25では、体幹部ヨー軸アクチュエータA7と左股関節ピッチ軸アクチュエータA17の回転を継続させた結果として重心Gが安定を失う。この結果、脚

式移動ロボット100の体全体が紙面手前側に倒れ込み、左脚部が着床する。上体のうつ伏せ姿勢への移行は相当程度進行している。

【0150】図26では、体幹部ヨー軸アクチュエータA7と左股関節ピッチ軸アクチュエータA17の回転を継続させた結果として、脚式移動ロボット100がうつ伏せ姿勢に完全に移行している。この姿勢からは、例えば図8～図13を参照しながら既に説明したような動作パターンに従って、脚式移動ロボット100は自律的に（すなわち外部からの物理的な補助なしに）起き上がることができる。

【0151】図21～図26を参照しながら説明した例では、主に体幹ヨー軸アクチュエータA7の駆動を利用してうつ伏せ姿勢に移行する動作パターンを説明してきた。これ以外にも、体幹ロール軸アクチュエータA6の駆動をさらに利用する（より具体的には、体幹ヨー軸の前に体幹ロール軸を変位させる）ことによって、より円滑な姿勢移行を実現することができる。体幹ロール軸アクチュエータA6及び体幹ヨー軸アクチュエータA7を併用して横転状態からうつ伏せ姿勢に移行する動作パターンについて、図27及び図28を参照しながら説明しておく。

【0152】図27では、体幹ロール軸を回転させることで、脚部のみで着床している姿勢を形成する。このような姿勢では、右肩部での接地反力が軽減され、上体を離床させることができる。

【0153】図28では、次いで体幹ヨー軸アクチュエータA7を回転させる。体幹ロール軸アクチュエータA6を既に変位させているので、体幹ヨー軸アクチュエータA7の駆動に要するトルクが軽減される。また、脚式移動ロボット100全体の姿勢変化も少なくすることができる。この結果、横転姿勢からうつ伏せ姿勢に移行するために消耗するエネルギーすなわちバッテリー容量を節約することができる。

【0154】上述したような2通りの動作パターンを用いることによって、脚式移動ロボット100を横転状態からうつ伏せ姿勢を形成することができる。図8に示すようなうつ伏せ状態を一旦形成することができれば、上述したように図9～図13に示すような一連の起き上がり動作パターンに従い、脚式移動ロボット100は自律的に（すなわち物理的な補助なしに）直立状態まで復帰することができる。

【0155】なお、腕部、足部等が自由に動作することができる状態であれば、それら動作の合力の反力を用いて、体幹部ヨー軸まわりの高速な動作を生み出すことができる。しかしながら、一般的な脚式移動ロボットが転倒した状態を想定すると、このような「弾み」を用いるような手法は確実性に乏しく、また、移動速度を制御しにくいいため、ロボット自身の保全や周囲環境への悪影響も懸念される。転倒という正常を逸脱した状態であるこ

とも勘案すると、上述したような低速であるが確実に姿勢を変化させていく動作パターンがより好ましいと思料する。

【0156】(4) 仰向け状態からの起き上がり

図29～図34には、本実施例に係る脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がる動作の他の例を図解している。図14～図20を参照しながら説明した上述の例では、脚式移動ロボット100が体前面方向に向かって起き上がる動作パターンを紹介したが、ここでは、仰向けの姿勢から一旦横転して他の姿勢に移行してから起き上がる動作パターンについて説明する。

【0157】図29には、脚式移動ロボット100が仰向けの姿勢で床面に転倒した直後の状態を示している。このような転倒状態で、主制御部80は、姿勢センサ93などの各センサ出力を基にして、通常の姿勢を逸脱して転倒に至ったことを検出し又は判定する。この例では、さらに、一旦横転姿勢に移行し、さらにうつ伏せ姿勢に移行してから起き上がる動作パターンを選択したものとす。

【0158】図30では、両足部と背面部が着床した状態のままで、両股関節ヨー軸アクチュエータA16を回転させることで、相対的に上体部を回転したい方向に捻る。同時に、右肩関節のピッチ軸アクチュエータA8を回転させることで、上体部と床面との干渉を避け、また、左肩関節のピッチ軸アクチュエータA8を回転させることで、該捻り方向への重心移動を促進している。

【0159】図31では、左足部を着床させたままの状態、右股関節ヨー軸アクチュエータA16を回転させて、右脚部全体をさらに該捻り方向に回転させる。また、同時に左肩関節ピッチ軸アクチュエータA8と体幹部ヨー軸アクチュエータA7を回転させることで、重心を所定方向に移動させる。

【0160】図32では、さらに、体幹部ヨー軸アクチュエータA7を回転させて、上体部の回転をほぼ終了し、同時に右腕部での着床を確保する。

【0161】図33では、主に右股関節ヨー軸アクチュエータA16を回転させて、腰部を所定の回転方向に捻ることで、捻り運動の円滑化を図る。

【0162】図34では、ほぼ横転姿勢への移行が完了した状態を示している。体幹部ロール軸アクチュエータA6をさらに回転させることで、捻り運動を促進することができ、さらに横転姿勢からうつ伏せ姿勢へと円滑に移行させることができる。

【0163】仰向け姿勢から横転姿勢へ、さらに横転姿勢からうつ伏せ姿勢へ移行する動作パターンをサポートすることにより、脚式移動ロボット100は、うつ伏せ状態からの起き上がり動作を持つだけで、任意の転倒状態から自律的に起き上がることが可能となる。

【0164】なお、図34から始まり図29で終わるような上述とは逆向きの動作パターンを実行することによ

り、図21に示すような横転した状態から図29に示すような仰向けの状態に移行することも可能である。

【0165】また、仰向け状態から横転状態へ、横転状態からうつ伏せ状態へ、という姿勢の移行を繰り返し実行することにより、脚式移動ロボット100は、転倒したままの状態でも床面すなわち平面上の移動を行うことも可能である。例えば、転倒した弾みで上部に障害物がある（あるいは天井が低い場所）に入り込んでしまったような場合であっても、転倒状態でもかかる平面的な移動を行うことにより、上部に障害物がない場所まで移動することができる。

【0166】〔追補〕以上、特定の実施例を参照しながら、本発明について詳解してきた。しかしながら、本発明の要旨を逸脱しない範囲で当業者が該実施例の修正や代用を成し得ることは自明である。

【0167】本明細書中では、2足による脚式移動を行う脚式移動ロボット100についての転倒時の起き上がり動作の代表例を説明してきたが、起き上がりの動作パターンは、添付図面に示したものには限定されない。機体の性能や状態、あるいは周囲の状態・環境などによって望ましい起き上がり動作パターンは変動し得ると理解されたい。

【0168】要するに、例示という形態で本発明を開示してきたのであり、限定的に解釈されるべきではない。本発明の要旨を判断するためには、冒頭に記載した特許請求の範囲の欄を参酌すべきである。

【0169】なお、本発明の要旨を判断する上で、2足歩行の脚式移動ロボット100についての関節等の呼び名は、図3を厳格に適用するのは妥当ではなく、現実のヒトやサルなどの2足直立歩行動物の身体メカニズムとの対比により柔軟に解釈されたい。

【0170】参考のため、脚式移動ロボットの関節モデル構成を図49に図解しておく。同図に示す例では、肩関節5から上腕、肘関節6、前腕、手首7及び手部8からなる部分を「上肢」と呼ぶ。また、肩関節5から股関節11までの範囲を「体幹部」と呼び、ヒトの胴体に相当する。また、体幹部のうち特に股関節11から体幹関節10までの範囲を「腰部」と呼ぶ。体幹関節10は、ヒトの背骨が持つ自由度を表現する作用を有する。また、股関節11より下の大腿部12、膝関節14、下腿部13、足首15及び足部16からなる部分を「下肢」と呼ぶ。一般には、股関節より上方を「上体」と呼び、それより下方を「下体」と呼ぶ。

【0171】なお、図49で用いた参照番号は、図5など本明細書中で参照されたその他の図面とは一致しない点を理解されたい。

【0172】

【発明の効果】以上詳記したように、本発明によれば、歩行動作など作業の最中に転倒してしまった場合であっても自力で起き上がることができる、優れた脚式移動型

ロボット及びその制御メカニズムを提供することができる。

【0173】また、本発明によれば、転倒してしまい様々な姿勢若しくは格好で横たわっている場合であっても自律的に起き上がり、転倒により中断した作業を自動的に再開することができる、優れた脚式移動型ロボット及びその制御方法メカニズムを提供することができる。

【0174】また、本発明によれば、うつ伏せ、仰向け、横向きなど様々な転倒姿勢からも自律的に確実且つ円滑に起き上がることができる、優れた脚式移動型ロボット及びその制御メカニズムを提供することができる。

【0175】本発明により、脚式移動ロボットの転倒姿勢からの復帰すなわち起き上がり動作が容易になる。また、起き上がり動作時における体幹部以外の可動部への負担や要求トルクが軽減される。また、荷重負担を各可動部間で分散・平均化することで、特定部位への集中荷重を回避することができる。この結果、ロボット運用の信頼性を向上するとともに、起き上がり動作期間中のエネルギー効率が向上する。

【0176】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、複数の転倒姿勢を順次移行させることにより、より容易な起き上がり動作を選択的に実行することができる。

【0177】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、複数の転倒姿勢を順次繰り返すことにより、起き上がることなく平面的な移動を実現することができる。この結果、より容易に立ち上がることができる場所まで移動してから起き上がり動作を実行することができる。

【0178】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、転倒姿勢を変化させることができるので、サポートしなければならない起き上がり動作パターンの種類や数を低減することができる。

【0179】例えば、ロボットがあらかじめ起き上がり動作パターンを用意しておくような場合、動作パターン数の減少により開発期間の短縮や開発コストの軽減が可能となる。また、動作パターン数の減少により、ハードウェアの負担も軽減されるので、その分システムの向上が見込まれる。

【0180】また、ロボットが状況に応じた動作パターンを自律的に生成するような場合には、生成すべき動作パターン数が減少することにより、ロボット自体に搭載すべき演算装置の負担が軽減され、装置製作コストの削減や、ロボット運転時における信頼性の向上などが見込まれる。

【0181】また、本発明に係る脚式移動ロボットによれば、転倒姿勢を変化させることで起き上がり動作パターンを限定することができる。この結果、起き上がり動作のために必要な各アクチュエータの出力トルクや動作範囲などへの要求が軽減される。この結果、設計の自由度が向上するとともに、開発期間の短縮や製作コストの

削減などを実現することができる。

【0182】また、転倒姿勢を変化させることで起き上がり方法を限定することができるので、起き上がり動作期間中におけるロボットの消費電力を節約し、バッテリーなどの供給電源への負荷を少なくすることができる。この結果、バッテリー駆動時間が延長し、1回の充電でより長時間の連続運転が可能となり、ロボットの作業時間、作業空間、作業内容等が拡大する。また、必要な場って利用料も低減するので、バッテリーの小型・軽量化が可能となり、設計の自由度が向上する。また、バッテリーの要求しようが軽減するので、バッテリー単価を安価に抑え、システム全体の製作コストや運転コストを節約することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施に供される脚式移動ロボット100を前方から眺望した様子を示した図である。

【図2】本発明の実施に供される脚式移動ロボット100を後方から眺望した様子を示した図である。

【図3】脚式移動ロボット100の体幹部の構成を拡大して描いた図（前方斜視図）である。

【図4】脚式移動ロボット100の体幹部の構成を拡大して描いた図（後方斜視図）である。

【図5】本実施例に係る脚式移動ロボット100が具備する自由度構成モデルを模式的に示した図である。

【図6】本実施例に係る脚式移動ロボット100の制御システム構成を模式的に示した図である。

【図7】脚式移動ロボット100の転倒時における動作手順を概略的に示したフローチャートである。

【図8】脚式移動ロボット100がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボット100がうつ伏せの姿勢で床面に転倒した直後の状態を描写した図である。

【図9】脚式移動ロボット100がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を描写した図であり、より具体的には、うつ伏せの転倒姿勢において脚式移動ロボット100が起き上がり動作を開始した様子を描写した図である。

【図10】脚式移動ロボット100がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を描写した図であり、より具体的には、両肩関節ピッチ軸アクチュエータA₈、体幹部ピッチ軸アクチュエータA₅、股関節ピッチ軸アクチュエータA₁₇の各変位をさらに大きくすることで、重心位置をさらに上方に持ち上げている様子を描写した図である。

【図11】脚式移動ロボット100がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を描写した図であり、より具体的には、腕部及び脚部各々の着床部分の距離をさらに短くして、この結果、重心Gを足平の上すなわち姿勢安定領域内に完全に収容させていく様子を描写した図である。

【図12】脚式移動ロボット100がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を描写した図であり、より具体的には、腕部の先端を床面から離すとともに、両膝部ピッチ軸アクチュエータA19を駆動して脚部を伸展することによって、重心Gをさらに上方に持ち上げていく様子を描写した図である。

【図13】脚式移動ロボット100がうつ伏せ状態から起き上がるための一連の動作を描写した図であり、より具体的には、さらに重心Gを上方に持ち上げて、直立姿勢に近づいていく様子を示した図である。

【図14】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボット100が仰向けの姿勢で床面に転倒した直後の状態を描写した図である。

【図15】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、転倒後、転倒姿勢を判断した脚式移動ロボット100が、仰向け姿勢からの起き上がり動作を開始した様子を描写した図である。

【図16】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、腰部が着床した状態でさらに両股関節ピッチ軸アクチュエータA17、両膝部ピッチ軸アクチュエータA19、両足首ピッチ軸アクチュエータA20を動作させて、両足平の足底で着床する姿勢の準備を行う様子を描写した図である。

【図17】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、体幹ピッチ軸アクチュエータA5を変位させると同時に、腕部と脚部各々の着床部分の距離を短くしていくことで、重心Gの位置を上方に持ち上げていく様子を描写した図である。

【図18】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、腕部と脚部各々の着床部分の距離を短くすることで、ZMPを極力足部に寄せて、腕部と腰部を離床させる様子を描写した図である。

【図19】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、伸展した姿勢を形成することによって、重心Gの位置をさらに持ち上げる様子を描写した図である。

【図20】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がるための一連の動作を示した図であり、より具体的には、さらに脚部を伸展させることで重心Gを上方に持ち上げて、直立姿勢に近づいていく様子を描写した図である。

【図21】脚式移動ロボット100が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボット100が横転した姿勢で床面に転倒した直後の状態を描写した図である。

【図22】脚式移動ロボット100が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、横転していると判断した脚式移動ロボット100が、うつ伏せ姿勢に移行するための動作パターンを開始した様子を描写した図である。

【図23】脚式移動ロボット100が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、体幹部ヨー軸アクチュエータA7を回転させて、上体をうつ伏せの姿勢に近付けている様子を描写した図である。

【図24】脚式移動ロボット100が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、左腕部が着床して、さらにうつ伏せの姿勢に近付いている様子を描写した図である。

【図25】脚式移動ロボット100が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、体幹部ヨー軸アクチュエータA7と左股関節ピッチ軸アクチュエータA17の回転を継続させた結果として脚式移動ロボット100の体全体が紙面手前側に倒れ込み、左脚部が着床する様子を描写した図である。

【図26】脚式移動ロボット100が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、体幹部ヨー軸アクチュエータA7と左股関節ピッチ軸アクチュエータA17の回転を継続させた結果としてうつ伏せ姿勢に完全に移行した様子を描写した図である。

【図27】脚式移動ロボット100が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、体幹部ヨー軸アクチュエータA7及び体幹ロール軸アクチュエータA6の駆動を併用することで、横転状態からうつ伏せ姿勢に円滑に移行する様子を描写した図である。

【図28】脚式移動ロボット100が横転状態から起き上がるための動作パターンの一例を示した図であり、より具体的には、体幹部ヨー軸アクチュエータA7及び体幹ロール軸アクチュエータA6の駆動を併用することで、横転状態からうつ伏せ姿勢に円滑に移行する様子を描写した図である。

【図29】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がる動作パターンの中の例を示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボット100が仰向けの姿勢で床面に転倒した直後の状態を描写した図である。

【図30】脚式移動100が仰向け状態から起き上がる動作パターンの中の例を示した図であり、より具体的には、両股関節ヨー軸アクチュエータA16を回転させることで、相対的に上部体を回転したい方向に捻るとともに、左右各関節のピッチ軸の回転により捻り方向へ重心を移動させている様子を描写した図である。

【図31】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起

き上がる動作パターンの他の例を示した図であり、より具体的には、右股関節ヨー軸アクチュエータA16を回転させて、右脚部全体をさらに該捻り方向に回転させるとともに、右股関節ヨー軸アクチュエータA16を回転させて、右脚部全体をさらに該捻り方向に回転させる様子を描写した図である。

【図32】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がる動作パターンの他の例を示した図であり、より具体的には、体幹部ヨー軸アクチュエータA7を回転させて右腕部での着床を確保する様子を描写した図である。

【図33】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がる動作パターンの他の例を示した図であり、より具体的には、主に右股関節ヨー軸アクチュエータA16を回転させて、腰部を所定の回転方向に捻ることで、捻り運動の円滑化を図る様子を描写した図である。

【図34】脚式移動ロボット100が仰向け状態から起き上がる動作パターンの他の例を示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボット100がほぼ横転姿勢への移行が完了した状態を描写した図である。

【図35】2足による直立歩行を行う脚式移動ロボット（従来例）の外観構成を示した図である。

【図36】図35に示した脚式移動ロボットが直立している様子を描写した図（従来例）である。

【図37】図35に示した脚式移動ロボットが歩行を行う様子を描写した図（従来例）であり、より具体的には左右の脚を交互に立脚と遊脚に切り替える様子を描いた図である。

【図38】図35に示した脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢で転倒した状態を示した図（従来例）である。

【図39】図35に示した脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、着床中の腕部及び脚部の相対的距離を近付けることにより、ロボットの重心を持ち上げていく様子を示した図（従来例）である。

【図40】図35に示した脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、ロボットの重心を持ち上げていく最中に足部を前方に移動させる様子を示した図（従来例）である。

【図41】図35に示した脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボットのZMPを姿勢安定領域内に移動させて、腕部を離床させる様子を示した図（従来例）である。

【図42】図35に示した脚式移動ロボットがうつ伏せ姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボットが腕部を離床させた後、さらに脚部を伸展させて起き上がり動作が完結する様子を示した図（従来例）である。

【図43】図35に示した脚式移動ロボットが仰向け姿勢で転倒した状態を示した図（従来例）である。

【図44】図35に示した脚式移動ロボットが仰向け姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、脚部と腕部で床面に接地する姿勢をとることで、重心を上方に持ち上げる様子を示した図（従来例）である。

【図45】図35に示した脚式移動ロボットが仰向け姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボットが着床している足部と腕部との相対的距離を徐々に小さくしていく様子を示した図（従来例）である。

【図46】図35に示した脚式移動ロボットが仰向け姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボットの重心位置を足部着床領域上空まで移動する様子を示した図（従来例）である。

【図47】図35に示した脚式移動ロボットが仰向け姿勢で転倒した状態から起き上がる動作パターンを示した図であり、より具体的には、脚式移動ロボットが腕部を離床させた後、さらに脚部を伸展させて起き上がり動作が完結する様子を示した図（従来例）である。

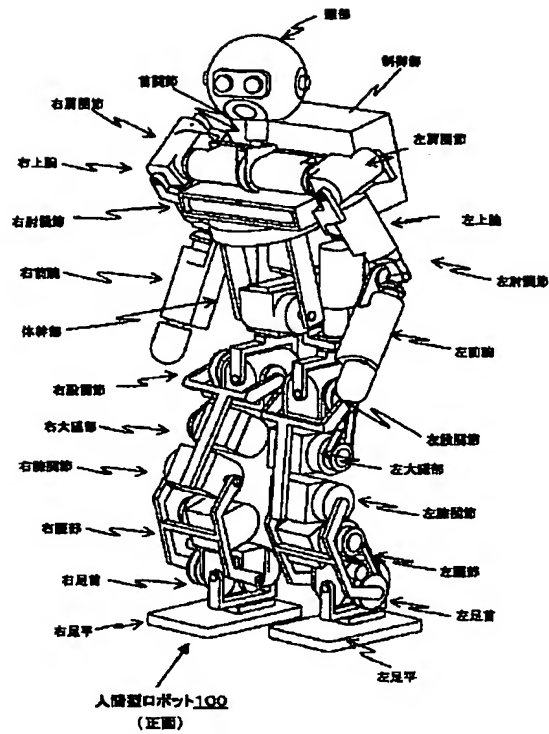
【図48】脚式移動ロボットが仰向け姿勢からの起き上がる途中で動作進行が不能になった様子を示した図（従来例）である。

【図49】脚式移動ロボットについての関節モデル構成の一例を模式的に示した図である。

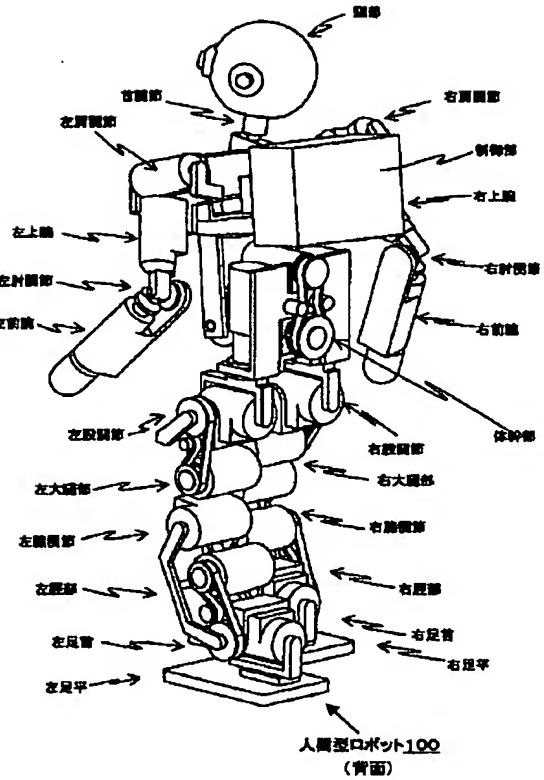
【符号の説明】

- 1…頭部, 2…首関節ヨー軸
- 3…首関節ピッチ軸, 4…首関節ロール軸
- 5…体幹ピッチ軸, 6…体幹ロール軸
- 7…体幹ヨー軸, 8…肩関節ピッチ軸
- 9…肩関節ロール軸, 10…上腕ヨー軸
- 11…肘関節ピッチ軸, 12…前腕ヨー軸
- 13…手首関節ピッチ軸, 14…手首関節ロール軸
- 15…手部, 16…股関節ヨー軸
- 17…股関節ピッチ軸, 18…股関節ロール軸
- 19…膝関節ピッチ軸, 20…足首関節ピッチ軸
- 21…足首関節ロール軸, 22…足部（足底）
- 30…頭部ユニット, 40…体幹部ユニット
- 50…腕部ユニット, 51…上腕ユニット
- 52…肘関節ユニット, 53…前腕ユニット
- 60…脚部ユニット, 61…大腿部ユニット
- 62…膝関節ユニット, 63…脛部ユニット
- 80…制御ユニット, 81…主制御部
- 82…周辺回路
- 91, 92…接地確認センサ
- 93…姿勢センサ
- 100…脚式移動ロボット

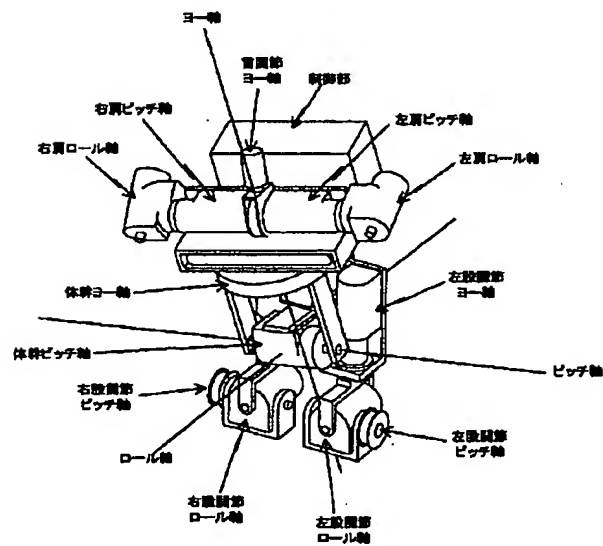
【図1】



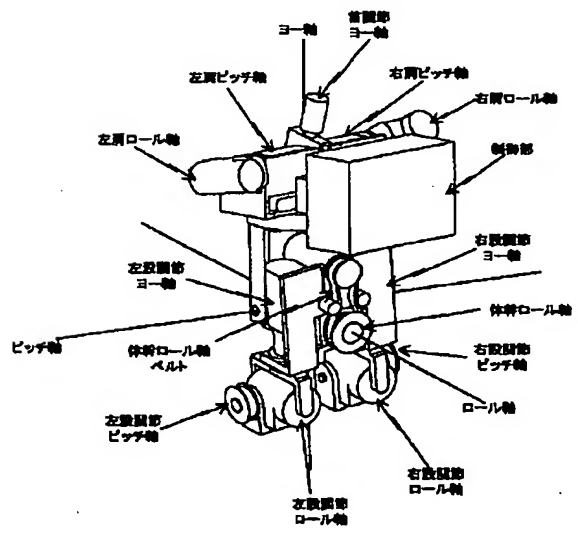
【図2】



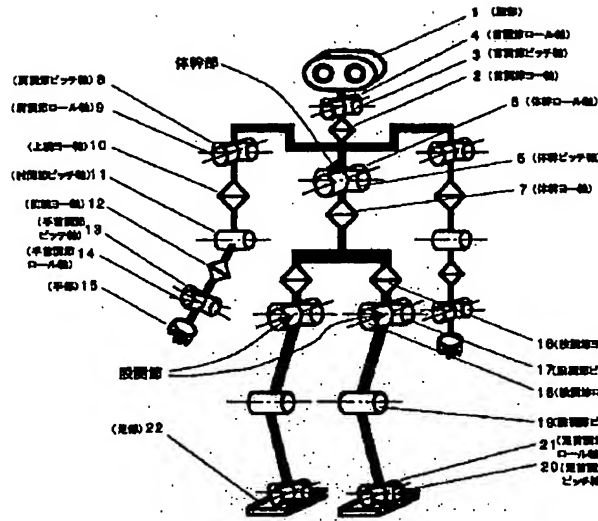
【図3】



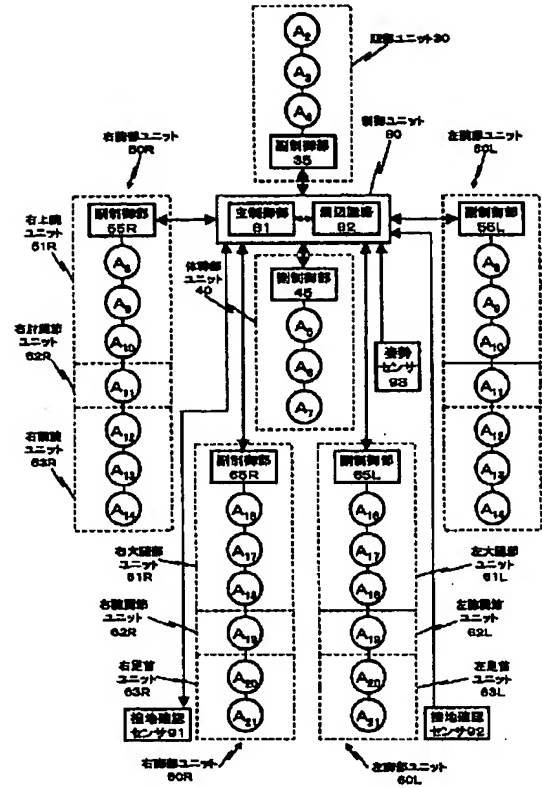
【図4】



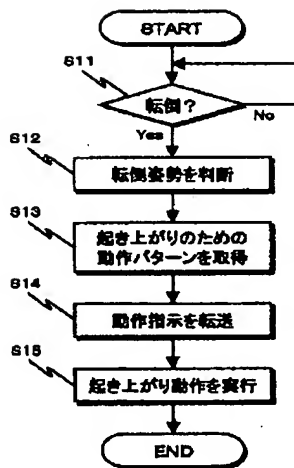
【図5】



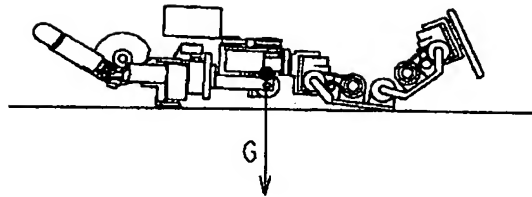
【図6】



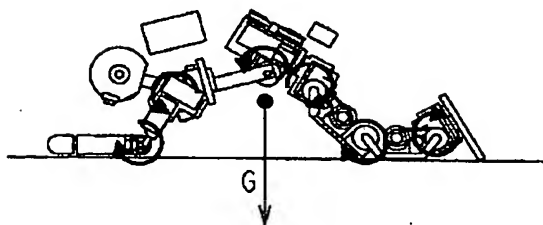
【図7】



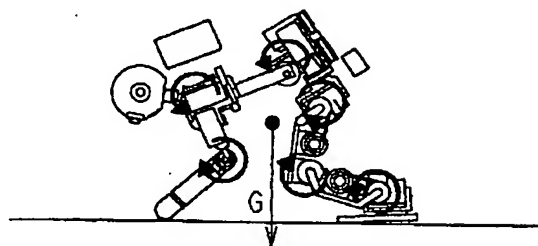
【図8】



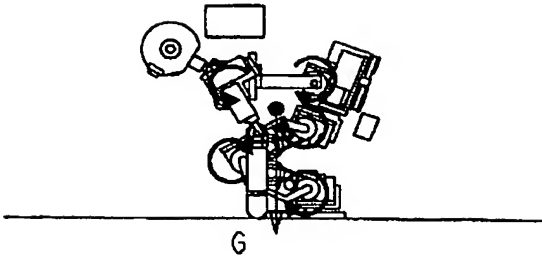
【図9】



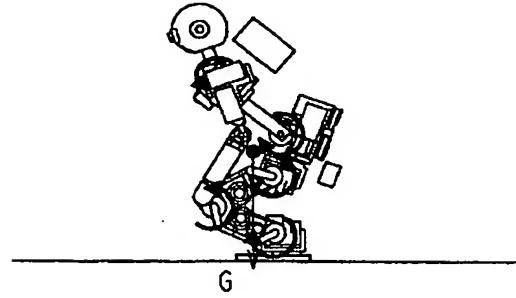
【図10】



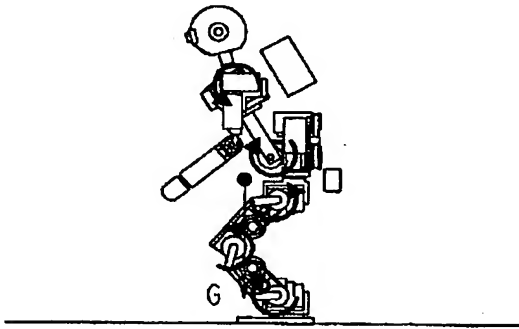
【図11】



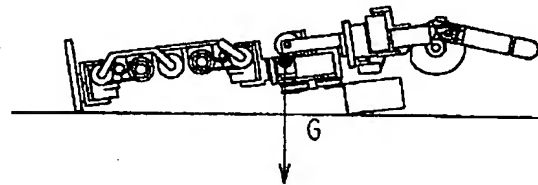
【図12】



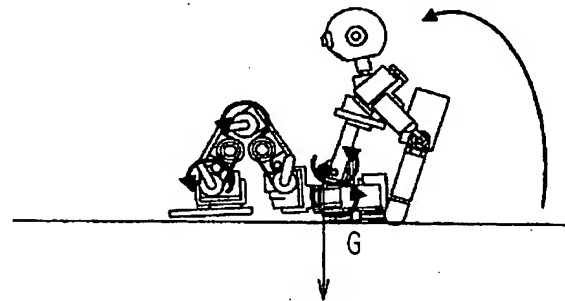
【図13】



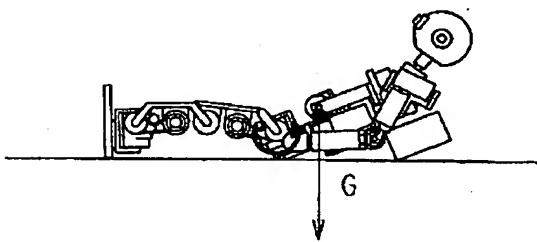
【図14】



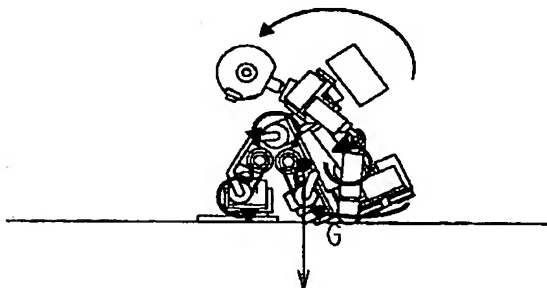
【図16】



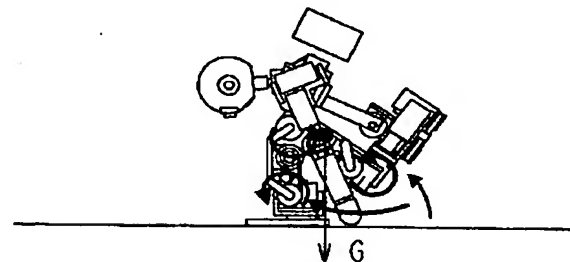
【図15】



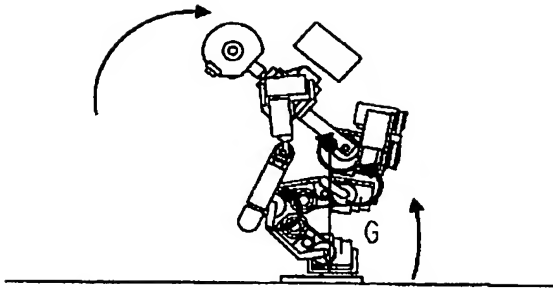
【図17】



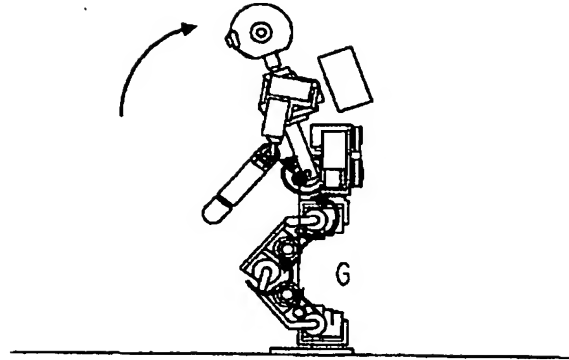
【図18】



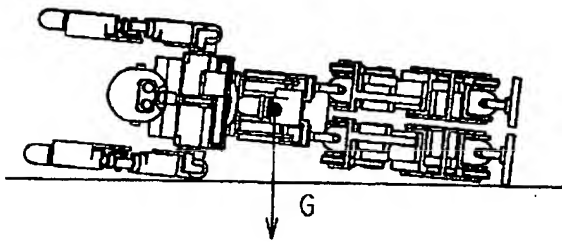
【図19】



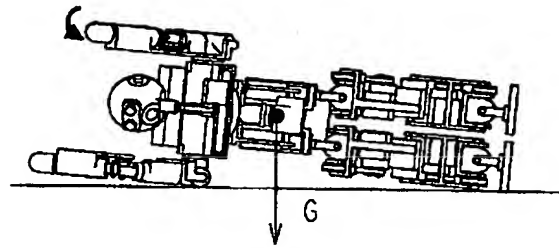
【図20】



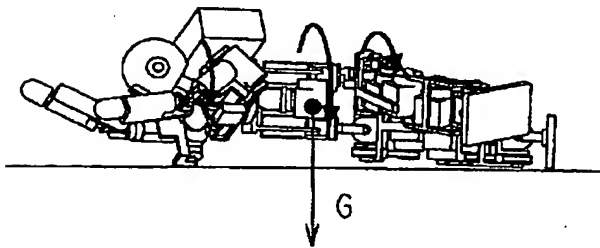
【図21】



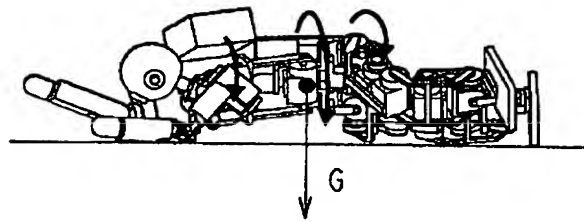
【図22】



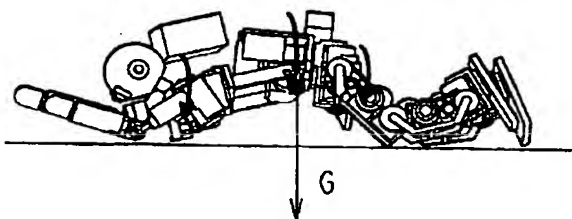
【図23】



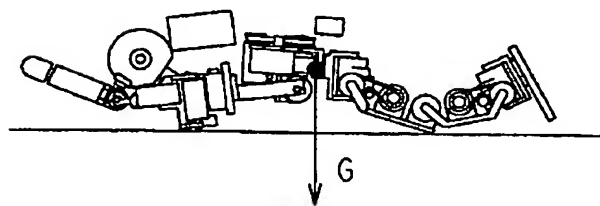
【図24】



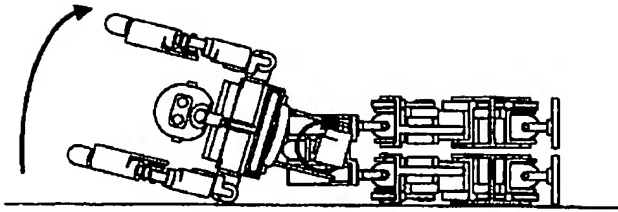
【図25】



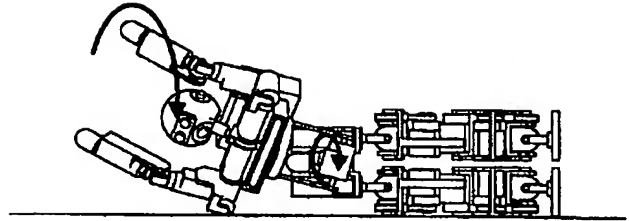
【図26】



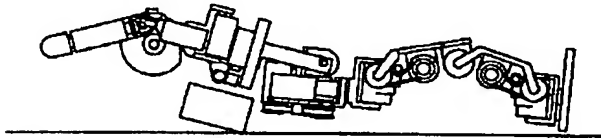
【図27】



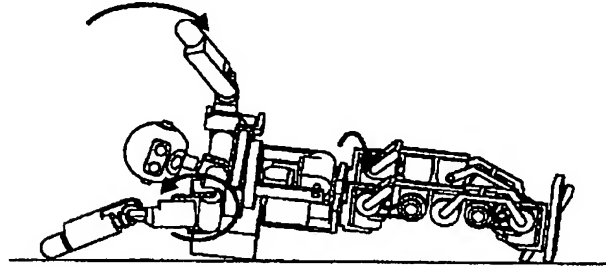
【図28】



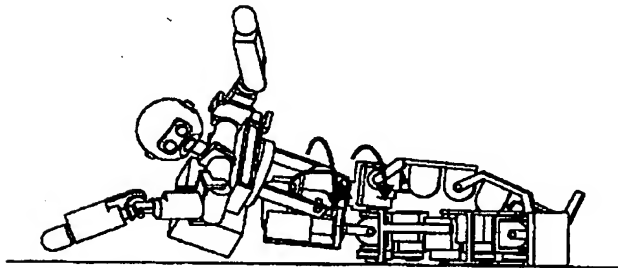
【図29】



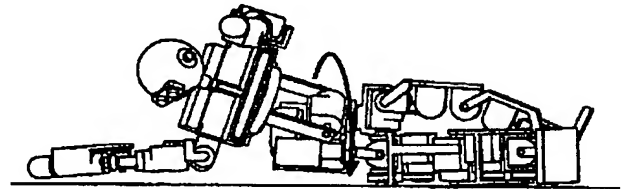
【図30】



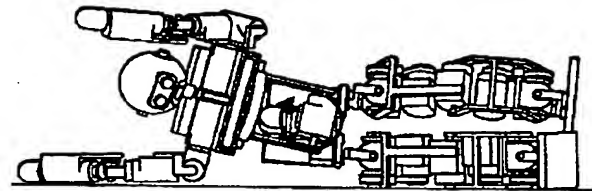
【図31】



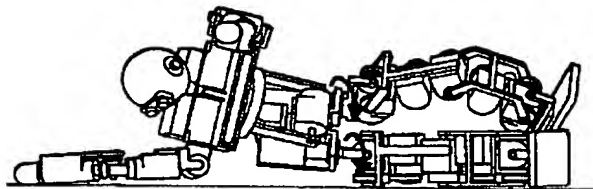
【図32】



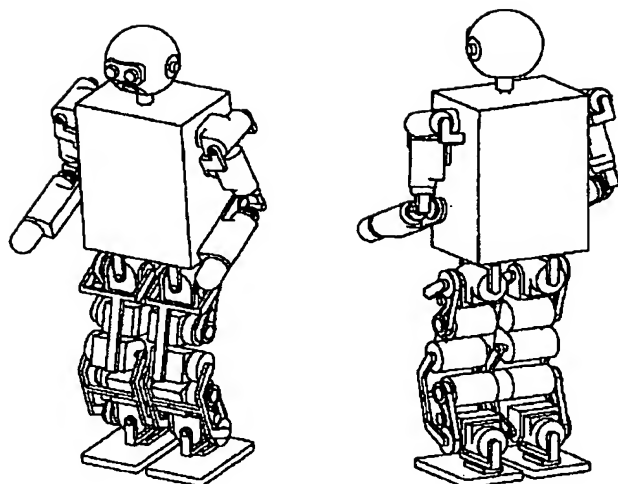
【図34】



【図33】



【図35】



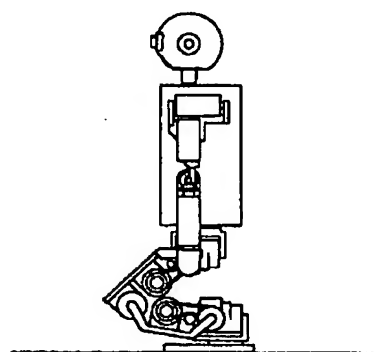
(正面)

(側面)

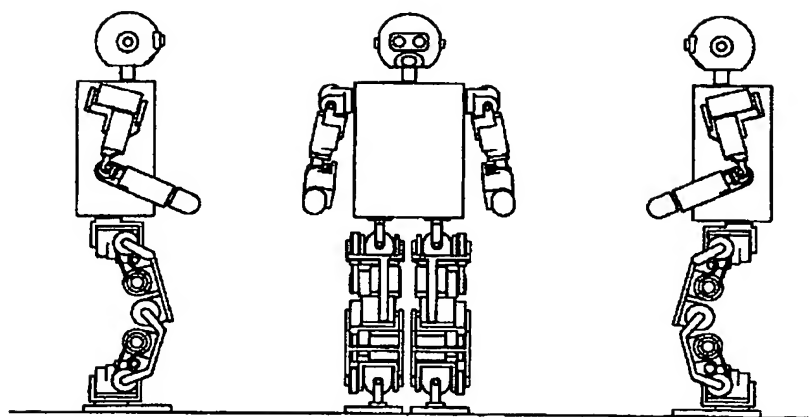
【図38】



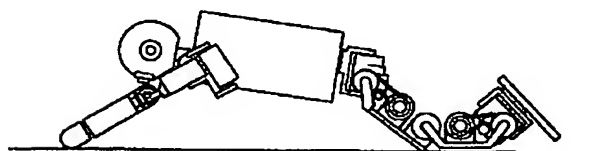
【図41】



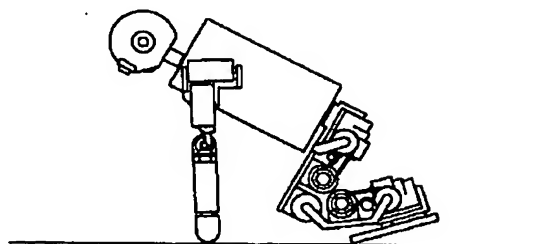
【図36】



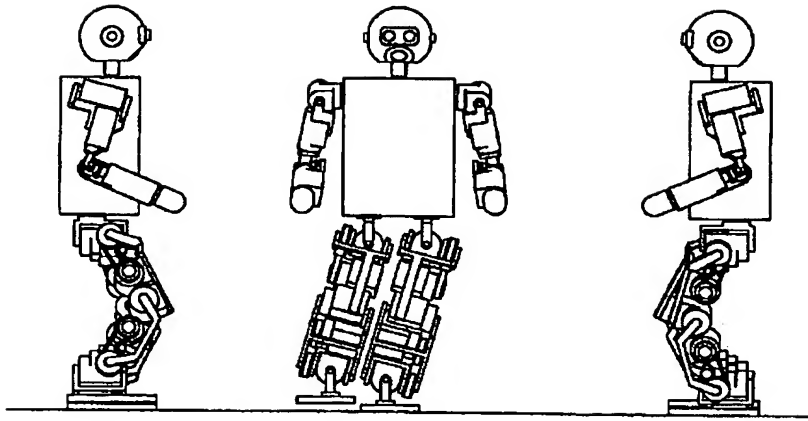
【図39】



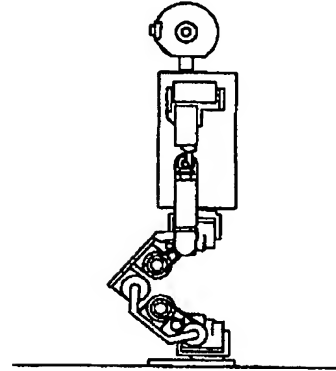
【図40】



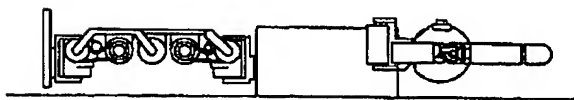
【図37】



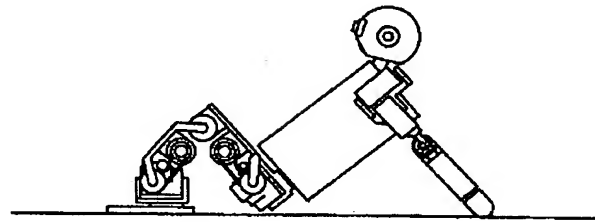
【図42】



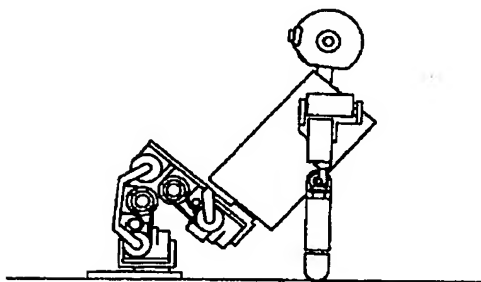
【図43】



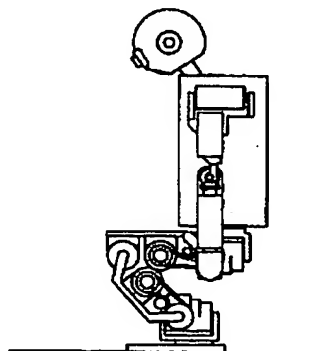
【図44】



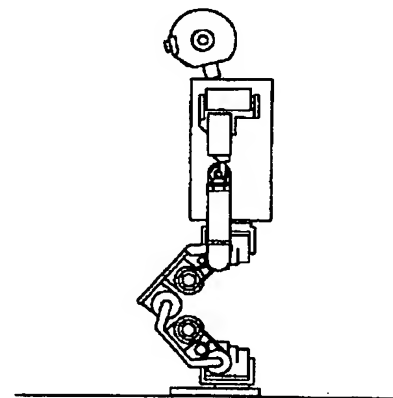
【図45】



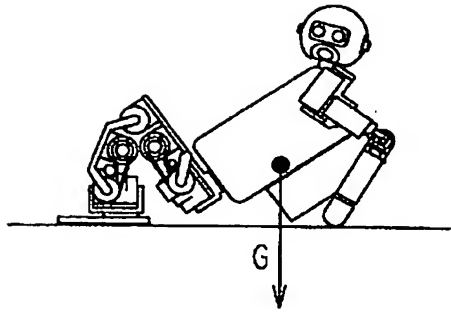
【図46】



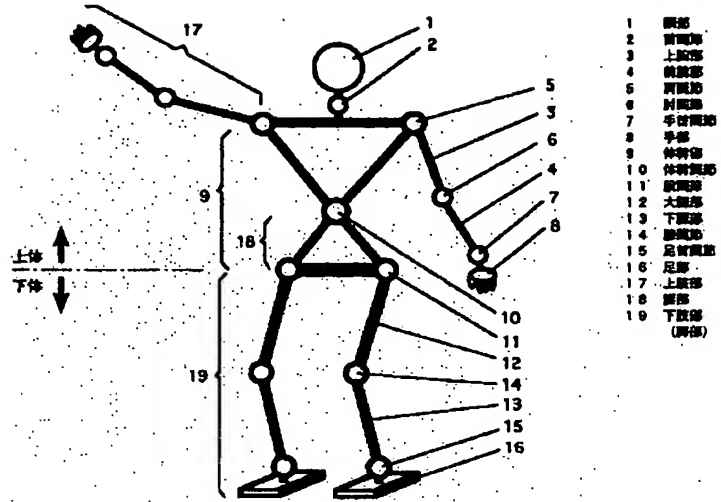
【図47】



【図48】



【図49】



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-150370

(43)Date of publication of application : 05.06.2001

(51)Int.Cl. B25J 5/00

B25J 9/16

(21)Application number : 11-332934 (71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 24.11.1999 (72)Inventor : HATTORI YUICHI
ISHIDA KENZO

(54) LEG-TYPE MOVING ROBOT AND OPERATION CONTROL METHOD
FOR THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a leg-type moving robot capable of autonomously and smoothly standing up from its various overturning postures such as falling on its face, falling on its back, falling on its side or the like.

SOLUTION: This leg-type moving robot has a degree of freedom on each roll, pitch and yaw shaft of a body part. The robot can smoothly stand up from an arbitrary overturning posture by using the degree of freedom of the body parts. The concentration of the load to a specific part can be prevented by reducing the load and the required torque to each movable part excluding the body part, and dispersing and averaging the load among the movable parts. As a result, the reliability in the operation of the robot can be improved, and the energy efficiency in a period of the standing-up operation can be improved.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.08.2003

[Date of sending the examiner's
decision of rejection]

[Kind of final disposal of application
other than the examiner's decision of
rejection or application converted
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3555107

[Date of registration] 21.05.2004

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The leg formula mobile robot which consists of membrum inferius and the upper part of the body arranged above this membrum inferius at least, is a leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius, and is characterized by providing a fall decision means to judge whether it fell or not, a means to judge the posture at the time of a fall, and a means to perform the rising actuation pattern according to a fall posture.

[Claim 2] The leg formula mobile robot which consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least, is a leg formula mobile robot which can move freely by

movement of the membrum inferius, and is characterized by to provide a fall decision means judge whether it fell or not, a means judge the posture at the time of a fall, and a means perform the rising actuation pattern according to a fall posture.

[Claim 3] The leg formula mobile robot which consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least, is a leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius, and is characterized by to provide a fall decision means to judge whether it fell or not, and a means perform the rising actuation pattern accompanied by the variation rate of the movable degree of freedom of said truncus section at least at the time of a fall.

[Claim 4] He is the leg formula mobile robot according to claim 3 which said truncus section has the movable degree of freedom of the direction of a pitching axis at least, and is characterized by said rising actuation pattern using the movable degree of freedom of this truncus section pitching-axis direction.

[Claim 5] He is the leg formula mobile robot according to claim 3 which said truncus section has the movable degree of freedom of the direction of a yawing axis at least, and is characterized by said rising actuation pattern using the movable degree of freedom of this truncus section yawing-axis direction.

[Claim 6] He is the leg formula mobile robot according to claim 3 which said truncus section has the movable degree of freedom of roll shaft orientations at least, and is characterized by said rising actuation pattern using the movable degree of freedom of these truncus section roll shaft orientations.

[Claim 7] The leg formula mobile robot which consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least, is the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius, and is characterized by to provide a means perform the pattern of operation for shifting to other fall postures; at a fall decision means judge whether it fell or not, a means judge the posture at

the time of a fall, and the time of a fall.

[Claim 8] Said pattern of operation for said truncus section having the movable degree of freedom of the direction of a pitching axis at least, and shifting to other fall postures is a leg formula mobile robot according to claim 7 characterized by using the movable degree of freedom of this truncus section pitching-axis direction.

[Claim 9] Said pattern of operation for said truncus section having the movable degree of freedom of the direction of a yawing axis at least, and shifting to other fall postures is a leg formula mobile robot according to claim 7 characterized by using the movable degree of freedom of this truncus section yawing-axis direction.

[Claim 10] Said pattern of operation for said truncus section having the movable degree of freedom of roll shaft orientations at least, and shifting to other fall postures is a leg formula mobile robot according to claim 7 characterized by using the movable degree of freedom of these truncus section roll shaft orientations.

[Claim 11] The motion-control approach of the leg formula mobile robot which consists of membrum inferius and the upper part of the body arranged above this membrum inferius at least, is the motion-control approach for the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius, and is characterized by to provide the step which judges whether it fell or not, the step which judges the posture at the time of a fall, and the step which performs the rising actuation pattern according to a fall posture.

[Claim 12] The motion-control approach of the leg formula mobile robot which consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and have a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least , is the motion-control approach for the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius , and is characterized by to provide the step which judges whether it fell or not , the step which judges the posture at the time of a fall , and the step which performs the rising actuation pattern according to a fall posture .

[Claim 13] The motion-control approach of the leg formula mobile robot which

consists of membrum inferius and the upper part of the body which are arranged above this membrum inferius and have a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least, is the motion-control approach for the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius, and is characterized by to provide the step which judges whether it fell or not, and the step which performs the rising actuation pattern accompanied by the variation rate of the movable degree of freedom of said truncus section at least at the time of a fall.

[Claim 14] It is the motion-control approach of the leg formula mobile robot according to claim 13 which said truncus section has the movable degree of freedom of the direction of a pitching axis at least, and is characterized by said rising actuation pattern using the movable degree of freedom of this truncus section pitching-axis direction.

[Claim 15] It is the motion-control approach of the leg formula mobile robot according to claim 13 which said truncus section has the movable degree of freedom of the direction of a yawing axis at least, and is characterized by said rising actuation pattern using the movable degree of freedom of this truncus section yawing-axis direction.

[Claim 16] It is the motion-control approach of the leg formula mobile robot according to claim 13 which said truncus section has the movable degree of freedom of roll shaft orientations at least, and is characterized by said rising actuation pattern using the movable degree of freedom of these truncus section roll shaft orientations.

[Claim 17] The motion-control approach of the leg formula mobile robot which consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least, is the motion-control approach for the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius, and is characterized by to provide the step which performs the step which judges whether it fell or not, and the pattern of operation for shift to other fall postures at the time of a fall.

[Claim 18] Said pattern of operation for said truncus section having the movable degree of freedom of the direction of a pitching axis at least, and

shifting to other fall postures is the motion-control approach of the leg formula mobile robot according to claim 17 characterized by using the movable degree of freedom of this truncus section pitching-axis direction.

[Claim 19] Said pattern of operation for said truncus section having the movable degree of freedom of the direction of a yawing axis at least, and shifting to other fall postures is the motion-control approach of the leg formula mobile robot according to claim 17 characterized by using the movable degree of freedom of this truncus section yawing-axis direction.

[Claim 20] Said pattern of operation for said truncus section having the movable degree of freedom of roll shaft orientations at least, and shifting to other fall postures is the motion-control approach of the leg formula mobile robot according to claim 17 characterized by using the movable degree of freedom of these truncus section roll shaft orientations.

[Claim 21] It consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. The step which forms the posture which is the motion-control approach of the sake when the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius lying prone, and lapsing into a posture, and is implanted only by the arm and the leg at least using the movable degree of freedom of a truncus section pitching axis, The step which raises a leg formula mobile robot's center of gravity up at least using the movable degree of freedom of a truncus section pitching axis, The step which makes small the relative location in the implantation parts of an arm and each leg at least using the movable degree of freedom of a truncus section pitching axis, the result which the implantation parts of an arm and each leg approached enough -- said leg formula mobile robot's ZMP -- a foot -- the motion-control approach of the leg formula mobile robot characterized by answering having gone into the implantation field and providing the step which starts expansion of the whole body.

[Claim 22] It consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. The step which

forms the posture which is the motion-control approach of the sake when the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius lapsing into a supine posture, and raised the upper part of the body at least using the movable degree of freedom of a hip joint pitching axis, The step which moves a leg formula mobile robot's center of gravity ahead at least using the movable degree of freedom of a truncus section pitching axis, the result which said center of gravity moved ahead enough -- said leg formula mobile robot's ZMP -- a foot -- the motion-control approach of the leg formula mobile robot characterized by answering having gone into the implantation field and providing the step which starts expansion of the whole body.

[Claim 23] The motion-control approach of the leg formula mobile robot characterized by providing the step which consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least, is the motion-control approach of the sake when the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius lapsing into a sideslip posture, lies prone at least using the movable degree of freedom of a truncus section yawing axis, and shifts to a posture.

[Claim 24] It consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. The step which is the motion-control approach of the sake when the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius lapsing into a sideslip posture, and floats the upper part of the body from a floor line using the movable degree of freedom of truncus section roll axes, The motion-control approach of the leg formula mobile robot characterized by providing the step which lies prone using the movable degree of freedom of a truncus section yawing axis, and shifts to a posture.

[Claim 25] The motion-control approach of the leg formula mobile robot which is the motion-control approach of the sake when consisting of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in

the truncus section at least, and the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius lapsing into a supine posture, and is characterized by providing the step which shifts to a sideslip posture at least using the movable degree of freedom of a truncus section yawing axis.

[Claim 26] It consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. It is the motion-control approach of the sake when the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius lapsing into a fall posture.

(a) The step which shifts to a sideslip posture from a supine posture, the step which lies prone from (b) sideslip posture and shifts to a posture, (c) -- the step which lies prone and shifts to a sideslip posture from a posture, the step which shifts to a supine posture from (d) sideslip posture, and ** -- the motion-control approach of the leg formula mobile robot characterized by providing at least one inside.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to a realistic robot's mechanism constituted by modeling a living body's mechanism and actuation, and relates to the mechanism of the leg formula migration mold robot which modeled the body mechanism of leg formula migration mold animals, such as Homo sapiens and an ape, especially.

[0002] Furthermore, even if it is the case where this invention has been reversed in the midst of walk actuation etc. in detail, the control mechanism of the leg formula migration mold robot which can rise by himself is started, and especially, it falls, and even if it is suitable and is various postures or the case where it lies, it rises by itself, and it is related with the control approach

mechanism for the leg formula migration mold robot which can resume automatically the activity interrupted by fall.

[0003]

[Description of the Prior Art] The thing of the machinery which performs movement modeled on actuation of human being using the electric or magnetic operation is called "robot." It is said that a robot's origin of a word originates in ROBOTA (slave machine) of a slab word. Although it was in our country that a robot began to spread from the end of the 1960s, the many were the industrial robots (industrial robot) in works aiming at automation, full automation, etc. of production, such as a manipulator and a carrier robot.

[0004] Recently, the researches and developments about the leg formula mobile robot which imitated the body mechanism of the animal which performs 2-pair-of-shoes walks in erect posture, such as Homo sapiens and an ape, and actuation progress, and the expectation for utilization has also been growing. The leg formula migration by 2-pair-of-shoes erection is excellent in the point that the flexible migration of the ability to respond to discontinuous walk sides, such as a walk side, a stairway, rise and fall of a ladder, etc. which have irregularity on activity paths, such as an irregular ground and an obstruction, is realizable, although it compares with a crawler type, 4 pairs of shoes or a 6-pair-of-shoes type, etc., and it is unstable and attitude control and walk control become difficult.

[0005] The thing of the leg formula mobile robot which emulated a human living body mechanism and actuation is especially called the robot (humanoid robot) of "a human form" or "a human mold." A humanoid robot can perform assisted living, i.e., exchange of the human activity in various scenes on the everyday life of living conditions and others etc.

[0006] The meaning which studies and develops the robot called a human form or a human mold can be grasped from the following two views.

[0007] One is a human science-view. That is, the robot of the structure similar to human being's membrum inferius and/or upper extremity can be made, the control approach can be devised, and the mechanism of natural actuation of human beings including a walk can be solved in engineering through the process of simulating walk actuation of human being. Such a research result

could greatly return human engineering, rehabilitation engineering, or sports science to progress of other various areas of research treating human being's movement mechanism.

[0008] Another supports a life as human being's partner, namely, is development of the robot which supports the human activity in various scenes on the everyday life of living conditions and others. In various aspects of affairs of human being's living environment, learning from human being, this kind of robot needs to learn separately the adaptation approach to human being or the environment where individuality is different, and needs to grow up to be it further in respect of a function. At this time, the direction where the robot is having "a human form", i.e., the same form as human being, or the same structure is considered to function effectively, when performing smooth communication with human being and a robot.

[0009] In for example, the case so that the approach of passing through the room while avoiding the obstruction which must not be stepped on may be taught to a robot in practice Rather than it is having structure where the partner who teaches like a crawler type or a 4-pair-of-shoes type robot completely differs from himself As for a user (worker), it is easy to teach the direction of the 2-pair-of-shoes bipedal robot which is dressing the same far. Moreover, it is easy to learn also for a robot (for example, refer to the Takanishi work "control of a 2-pair-of-shoes bipedal robot" (Society of Automotive Engineers of Japan Kanto branch <quantity **> No.25, 1996APRIL)).

[0010] Most of human being's workspaces or habitation space are formed according to the body mechanism and behavioral pattern which human being called the walk in erect posture by 2 pairs of shoes has. In other words, many obstructions exist in the mechanical system of the present condition which made the driving gear of a wheel and others the migration means moving in human being's dwelling space. However, in order for a mechanical system, i.e., a robot, to execute various human activities by proxy and to permeate human being's dwelling space deeply further, it is desirable that the movable range of a robot is almost the same as it of human being. This is also the reason from which a leg formula mobile robot's utilization is expected very

much. It can be said that it is indispensable to have the gestalt of a human mold when a robot raises compatibility with human being's living conditions. [0011] As one of the applications of a humanoid robot, vicarious execution of various kinds of difficulty activities in an industrial activity, a production activity, etc. is mentioned. For example, it is vicarious execution of the maintenance in a nuclear power plant, a thermal power station plant, and a petrochemical plant, conveyance and assembly operation of the components in a plant, cleaning in a skyscraper, and the risk activity and difficulty activity like the rescue in a fire site and others.

[0012] However, there is not necessarily no need of reproducing faithfully the body mechanism and actuation which it is the supremacy theme on a design / manufacture the robot which specialized in this kind of industrial use realizing a specific application or a specific function, and walk-in-erect-posture animals, such as Homo sapiens and an ape, originally have although it is premised on a 2-pair-of-shoes walk as a machinery. For example, in order to realize a specified use, while strengthening a hand's degree of freedom and moving function, restricting degrees of freedom, such as a head made comparatively low [relation], and the truncus section, the lumbar part (spine etc.), to the application of an activity, and omitting ** should approve to some extent. Consequently, although unnaturalness may remain as Homo sapiens by the exterior of a robot's activity or actuation also in a 2-pair-of-shoes walk and *****, this point cannot but reach a compromise.

[0013] Moreover, the application of "symbiosis" with a life adhesion mold, i.e., human being, is mentioned rather than assisted living, such as vicarious execution of a difficulty activity, as other applications of a humanoid robot. This kind of robot reproduces faithfully the mechanism of the whole body coordination mold which the animal which performs the walks in erect posture, Homo sapiens, an ape, etc., of 2 pairs of shoes originally has of operation, and sets it as the supremacy purpose to realize that automatically smooth actuation. Moreover, if the high erection animal of the intelligence of Homo sapiens, an ape, etc. is emulated at all, the actuation using the limbs is natural as a living body, and it is desirable for the power of expression which actuation has to be rich. Furthermore, it is required it not only performs

faithfully the pattern of operation inputted beforehand, but that it should realize the lively expression of operation in response to a partner's language and attitudes ("it strikes"). ["it praises" or "he scolding",] In this semantics, the entertainment-oriented humanoid robot which imitated Homo sapiens is suitable for just calling it the robot of "a human mold."

[0014] The body is already equipped with the degree of freedom which goes up to hundreds of joints, i.e., hundreds, as everyone knows. Although it is desirable to give the almost same degree of freedom in order to give a leg formula mobile robot the infinite actuation near Homo sapiens, this is very difficult technically. Because, although it is necessary to arrange one actuator each at least to one degree of freedom, it is equal [mounting hundreds of actuators on a machinery called a robot] impossible also from a viewpoint of designs, such as weight and size, also from the point of a manufacturing cost. Moreover, if there are many degrees of freedom, only in the part, the computational complexity for a robot's location and pattern control of operation, posture stability control, etc. will increase exponentially.

[0015] For this reason, it is common to constitute a humanoid robot from about dozens joint degrees of freedom far fewer than the body. Therefore, how it realizes can call more natural actuation one of the important technical problems in a design and control of a humanoid robot using few degrees of freedom.

[0016] For example, it is already clear from viewpoints, such as human engineering, that it is important in order that the device which has flexibility like a spine may carry out actuation various at the place of a life of human being and complicated. Although the application top with the industrial truncus joint degree of freedom which means a spine has low existence value, it is important for the humanoid robot of the life adhesion mold of entertainment or others. in addition -- and it is called for that adaptability can be actively adjusted according to a situation.

[0017] moreover, since a center-of-gravity location becomes high while the leg formula mobile robot which performs a 2-pair-of-shoes walk in erect posture is excellent in the point that flexible walk / transit actuation, such as etc., for example, rise and fall of a stairway and an obstruction -- getting over -- is

realizable and number of a foot decreases, only in the part, attitude control and stable walk control become difficult. Especially, in the case of the robot of a life adhesion mold, the posture of the whole body and a stable walk must be controlled, expressing richly the natural actuation and the feeling in intelligence animals, such as Homo sapiens and an ape.

[0018] The attitude control about the robot of a type which performs leg formula migration by 2-pair-of-shoes walk, and the technique about a stable walk are already proposed plentifully. With stable "walk" said here, it can be defined as "Moving using a foot, without falling."

[0019] Posture stability control of a robot is very important when avoiding a robot's fall. It is because a considerable effort and time amount are paid in order to mean that a fall interrupts the activity which a robot is performing, and to rise from tipping condition and to resume an activity. Moreover, it is because there is risk of doing fatal damage also in the body of the other party which collides with the robot body itself or the falling robot by fall rather than anything. Therefore, in a design and development of a leg formula mobile robot, posture stability control and the fall prevention at the time of a walk are one of the most important technical problems.

[0020] These moments act on gravity, inertial force, and a list from a walk system at a road surface with the acceleration produced in connection with gravity and locomotion at the time of a walk. According to so-called "d'Alembert's principle", they balance with the floor reaction force as reaction from a road surface to a walk system, and the floor-reaction-force moment. As a conclusion of dynamic inference, the point (Zero Moment Point), i.e., "ZMP", that a pitch and the roll-axes moment serve as zero exists in the vola grounding point and side top of the support polygon which a road surface forms, or its inside.

[0021] Many of proposals about posture stability control of a leg formula mobile robot or the fall prevention at the time of a walk are used as a norm of stability distinction of a walk of this ZMP. The 2-pair-of-shoes walk pattern generation based on a ZMP norm can set up the point landing [vola] beforehand, and has the advantage of being easy to take the kinematic constraint of the tip of a foot according to a road surface configuration into

consideration.

[0022] For example, to JP,5-305579,A, it is indicating about a leg formula mobile robot's walk control unit. A walk control unit given in this official report is controlled to make in agreement with desired value the point on the floor line where the moment by the floor reaction force when ZMP(ing) namely, (ZeroMoment Point) walking serves as zero.

[0023] Moreover, the leg formula mobile robot given in JP,5-305581,A constituted, as ZMP had ZMP in the location which has predetermined allowances at least from the edge of a support polyhedron (polygon) at the time of the interior of a support polyhedron (polygon) or landing, and bed leaving. Consequently, even if it receives disturbance etc., only predetermined distance has the allowances of ZMP, and improvement in the stability of a walk can be aimed at.

[0024] Moreover, to JP,5-305583,A, it is indicating about the point which controls a leg formula mobile robot's walk rate by the ZMP target position. That is, a leg formula mobile robot given in this official report detects the inclination of the upper part of the body, and is made to change the discharge rate of the walk pattern data set up according to the detection value while he drives a leg joint using the walk pattern data set up beforehand so that ZMP may be made in agreement with a target position. Consequently, when unexpected irregularity is stepped on and a robot inclines forward, for example, a posture can be recovered by discharge speeding up. Moreover, since ZMP can control to a target position, it is convenient even if it changes a discharge rate in a double stance phase.

[0025] Moreover, to JP,5-305585,A, it is indicating about the point which controls a leg formula mobile robot's landing location by the ZMP target position. That is, a leg formula mobile robot given in this official report performs a stable walk by detecting the gap with a ZMP target position and an observation location, driving one side or the both sides of the leg so that it may be canceled, or driving the leg so that the moment may be detected and it may become zero to the circumference of a ZMP target position.

[0026] Moreover, to JP,5-305586,A, it is indicating about the point which controls a leg formula mobile robot's inclination posture by the ZMP target

position. That is, a leg formula mobile robot given in this official report performs a stable walk by driving the leg so that it may become zero, when the moment of the circumference of a ZMP target position is detected and the moment has arisen.

[0027] The utmost efforts should be paid in order to avoid the situation of the fall of a bipedal robot beforehand. However, when the numbers of a foot are few 2-pair-of-shoes bipedal robots, it cannot pass for it to be under the situation of saying that it will step toward the 1st step of utilization at last from a research phase, and the possibility of a fall cannot especially be eliminated completely.

[0028] Therefore, while suppressing the damage at the time of a fall to the minimum it not only taking the cure which prevents a fall, but, it is important for early utilization of a leg formula bipedal robot restoration of the activity after a fall, i.e., rising of a robot, and to start and to raise dependability of operation.

[0029] "The fall" is unescapable when a robot operates under the living conditions of human being who includes various obstructions and unexpected situations. First of all, the human being itself falls. Therefore, it is not an overstatement although it is indispensable conditions for having the pattern of operation which rises autonomously from the condition which the robot reversed to realize a leg formula mobile robot's full automation.

[0030] For example, in JP,11-48170,A, it is dealt with about the problem of a fall of a leg formula mobile robot. However, in the situation which is likely to be reversed, by controlling to lower a robot's center of gravity, this official report does not propose mitigating damage on the body of the other party with which a robot and a robot collide as much as possible, and has not made reference at all about restoration of the activity after a fall, i.e., rising of a robot, and the point which starts and raises dependability of operation.

[0031] Moreover, the reverse posture is various even if it says a robot "falls" earnestly. For example, in the case of the leg formula mobile robot of 2 pairs of shoes, it lies prone and there is two or more tipping condition, such as supine and sideways. It is inadequate for advocating full automation of autonomous rising or a robot that it can rise only from some fall postures and

there is nothing (for example, it lies prone and rises only from a condition).

[0032] For example, a leg formula mobile robot as shows drawing 35 is considered. The robot which shows in this drawing is a humanoid robot which performs the walk in erect posture by 2 pairs of shoes, and consists of a head, the truncus section, the membrum-inferius section, and the upper extremity section. The leg shall have a degree of freedom required for a walk, and an arm shall be equipped with a required degree of freedom in the activity assumed. For example, each leg has six degrees of freedom, and each arm has four degrees of freedom. Moreover, the truncus section is a core of the structure which connects the leg, an arm, and a head. However, in the case of the robot which shows illustration, it does not have a degree of freedom in the truncus section at all.

[0033] Generally, the walk in a leg formula mobile robot is realized by performing relative migration of the implantation side of the leg, and a center of gravity or the central point of the dynamic moment. If it is the case of the robot of a 2-pair-of-shoes walk, migration in the predetermined direction will be performed by changing a foot on either side to a basis and **** by turns. At this time, it is necessary to move a weight alignment or the core of the dynamic moment to a basis side, and to move it to a predetermined travelling direction fundamentally. These actuation is realized in a leg formula mobile robot by the cooperative drive by the joint degree of freedom of each part. In the case of the leg formula mobile robot which has six degrees of freedom or a degree of freedom beyond it in a biped as shown in drawing 35 , respectively, it is possible to move the weight alignment at the time of a walk or the core of the dynamic moment only with the degree of freedom of a foot.

[0034] The condition that the leg formula mobile robot which showed drawing 35 is standing straight is shown in drawing 36 . In the state of such erection, the center-of-gravity location of the robot which saw from the body transverse plane is on the core of a biped, and ZMP is in the posture stable zone in the middle of [abbreviation] both the guide-pegs implantation section.

[0035] Moreover, the condition of having moved the center of gravity to one leg (they being crus sinistrum diaphragmatis at the example shown in this drawing) for the walk of this leg formula mobile robot is shown in drawing 37 .

namely, the roll direction of the left hip and the left leg neck joint section -- the roll direction of a variation rate, the right hip which ****s in this, and the right leg neck joint section -- by movement which uses a variation rate as a principal component, a robot's center of gravity moves to a crus-sinistrum-diaphragmatis side, and ZMP moves into the implantation field of a left leg. Consequently, a robot forms the posture which can support a whole pile only by crus sinistrum diaphragmatis. Moreover, it can walk by stepping toward the travelling direction of a request of the right trail used as ****.

[0036] In the case of the 2-pair-of-shoes leg formula mobile robot which mainly assumed the walk, only the degree of freedom arranged at the leg depending on arrangement of a degree of freedom can be walked, and such a walk actuation pattern is adopted also on the system in many cases.

Furthermore, it is common that the degree of freedom is separately arranged at the arm or the hand part for the activity which a robot does. Moreover, it has a degree of freedom aiming at visual recognition etc. also about a head in many cases.

[0037] On the other hand, about the truncus section, robots, such as a walk and an activity, cannot tell an indispensable degree of freedom to the pattern of operation made into a key objective. For this reason, most leg formula mobile robots currently developed towards the present utilization do not equip the truncus section with the degree of freedom, as shown in drawing 35 (above-mentioned).

[0038] Here, rising actuation is considered at the time of the fall about the leg formula mobile robot of the type which does not equip the truncus section as shown in drawing 35 with the degree of freedom.

[0039] For example, when [which lies prone and rises from a posture] shown in drawing 38 , a robot's center of gravity is raised by making the pitching axis of the both-arms section and both hip joints etc. drive, using an implantation part only as an arm and the leg (knee region) first, and subsequently bringing the relative distance of both the implantation section close gradually (refer to drawing 39).

[0040] Moreover, raising a center of gravity and coincidence are made to move a foot ahead (refer to drawing 40). consequently, a center of gravity -- a

foot -- it moves over an implantation field, ZMP rushes into an implantation field, i.e., a posture stable zone, and it becomes possible to separate an arm from a floor line (refer to drawing 41). Furthermore, the leg (knee-joint section) is extended, a center of gravity is raised, and rising actuation is completed by things (refer to drawing 42).

[0041] A center of gravity is fully however, unmovable in fact in many cases because of problems, such as a movable include angle of each joint, and interference between parts. For example, grounding an arm, in case a posture is made to shift to drawing 41 from above-mentioned drawing 40 , a knee cannot fully be collapsed and ZMP cannot be moved to the implantation field of a foot. If migration of ZMP is tried by force, before ZMP rushes into a stable zone, an arm cannot carry out bed leaving first and cannot rise well.

[0042] Moreover, as shown in drawing 43 , when the leg formula mobile robot has fallen with the supine posture, it becomes still more difficult for a robot to rise autonomously, i.e., nothing [the physical assistance from the outside].

[0043] When performing rising actuation from a supine posture, a center of gravity is raised up by taking first the posture grounded to a floor line by the leg and the arm (refer to drawing 44). Subsequently, relative distance of an implanted foot and an implanted arm is gradually made small (refer to drawing 45).

[0044] if the relative distance of a foot and an arm becomes sufficiently small - a robot's center-of-gravity location -- a foot -- it can move to the implantation field sky (refer to drawing 46). In this condition, since ZMP is contained in the foot, i.e., a posture stable zone, while separating an arm from a floor line, rising actuation completes a center of gravity by raising further by extending the leg, i.e., a knee region, (refer to drawing 47).

[0045] However, a center of gravity is fully unmovable in many cases because of problems, such as a movable include angle of each joint, and interference between parts, as well as the case where lie prone and it rises from a posture in fact. For example, grounding an arm, in case a posture is made to shift to drawing 46 from above-mentioned drawing 45 , a knee cannot fully be collapsed and ZMP cannot be moved to the implantation field of a foot. If migration of ZMP is tried by force, before ZMP rushes into a stable zone, an

arm cannot carry out bed leaving first and cannot rise well.

[0046] By lying prone, when extending the movable include angle by the side of the front face of the body in the hip in any [of the rising actuation from a posture, and the rising actuation from the supine posture which was shown by drawing 38 - drawing 42 and which was shown by drawing 43 - drawing 47] case, the bottleneck shown in drawing 40 and drawing 41 , and a list at drawing 46 and drawing 47 is cancelable. However, since interference with the truncus section and the member of the circumference of it generates the movable include angle of the hip in a sake greatly in the leg formula mobile robot of the system, it is hard to call it a realistic solution.

[0047] moreover, it mentioned above -- lying prone -- and supine -- constituting a foot extremely heavily also in the rising actuation pattern from which posture -- the whole leg formula mobile robot's center-of-gravity location -- a foot -- if it sets up near, even if it is the case where an arm carries out bed leaving previously in drawing 41 or drawing 47 , ZMP can be moved to a posture stable zone. It is the same principle as DARUMA rises automatically.

[0048] If it is the case of the robot which performs "*****" which always has a robot's center of gravity in the touch-down range of the vola during a walk, even if the whole center-of-gravity location is located like DARUMA in a low place like a foot, stable walk actuation is securable.

[0049] On the other hand, in the case of the robot of a type which performs "*****" from which a robot's center of gravity separates besides the vola, the concept of the "handstand pendulum" of aiming at posture recovery by accelerating a supporting point strongly is introduced in the fall direction during a walk period. That is, in order to enable dynamic center-of-gravity migration in the case of a ***** type robot, the leg is designed comparatively lightweight to the condition so that it may become a height comparatively about a center-of-gravity location. Conversely, if the mass of the leg is large, smooth center-of-gravity migration will become difficult, and trouble will be caused to the walk itself. If it summarizes, since the posture stability control at the time of ***** becomes difficult, it cannot become general solution of the leg formula mobile robot which performs rising actuation to set the whole robot's center-of-gravity location as a low place.

[0050] Since the good variate of the relative location of an arm, a head, etc. and the leg is small when it is the leg formula mobile robot of the type which does not have a degree of freedom in the truncus section so that they may be known, even if it refers to drawing 43 - drawing 47 in drawing 38 - drawing 42 , and a list, rising from any fall posture becomes difficult.

[0051] On the other hand, the good variate of the relative location of an arm and the leg is extensible constituting a robot's truncus section extremely short or by constituting an arm extremely long. Consequently, before ZMP as shown in drawing 41 or drawing 47 goes into a posture stable zone, the phenomenon in which an arm will carry out bed leaving can be canceled, and rising actuation can be realized.

[0052] However, the truncus section will be shortened, or lengthening an arm will lose the limbs of a humanoid robot, or the balance of the whole body, and it will deviate from the meaning which aims at "a human form" or "a human mold."

[0053] Moreover, a robot's own control unit is carried in the tooth-back section in many cases as a trend of the leg formula mobile robot at the time of this application. Therefore, since a center-of-gravity location inclines toward a tooth-back side greatly when it falls on its back, if the rising actuation from a supine posture becomes still more difficult, it will hit on an idea of it (refer to drawing 48).

[0054]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The purpose of this invention is to offer the mechanism of the great leg formula migration mold robot which modeled the body mechanism of leg formula migration mold animals, such as Homo sapiens and an ape.

[0055] Even if the further purpose of this invention is the case where it has fallen in the midst of activities, such as walk actuation, it is to offer the great leg formula migration mold robot which can rise by himself, and its control mechanism.

[0056] The further purpose of this invention is to offer the great leg formula migration mold robot which can fall, can rise autonomously even if it is suitable and is various postures or the case where it lies, and can resume

automatically the activity interrupted by fall, and its control approach mechanism.

[0057] The further purpose of this invention is to offer the great leg formula migration mold robot which can lie prone and can rise certainly and smoothly autonomously also from various fall postures, such as supine and sideways, and its control mechanism.

[0058]

[Means for Solving the Problem] This invention is made in consideration of the above-mentioned technical problem. The 1st side face A fall decision means to consist of membrum inferius and the upper part of the body arranged above this membrum inferius at least, to be the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius, and to judge whether it fell or not, He is the leg formula mobile robot characterized by providing a means to judge the posture at the time of a fall, and a means to perform the rising actuation pattern according to a fall posture.

[0059] Moreover, the 2nd side face of this invention consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. It is the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius, and he is the leg formula mobile robot characterized by providing a fall decision means to judge whether it fell or not, a means to judge the posture at the time of a fall, and a means to perform the rising actuation pattern according to a fall posture.

[0060] Moreover, the 3rd side face of this invention consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. It is the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius, and he is the leg formula mobile robot characterized by providing a fall decision means to judge whether it fell or not, and a means to perform the rising actuation pattern accompanied by the variation rate of the movable degree of freedom of said truncus section at least at the time of a fall.

[0061] In the leg formula mobile robot concerning the 3rd side face of this

invention, said truncus section has the movable degree of freedom of the direction of a pitching axis at least, and its hand is also good. In this case, said rising actuation pattern can use the movable degree of freedom of this truncus section pitching-axis direction.

[0062] Or said truncus section has the movable degree of freedom of the direction of a yawing axis at least, and its hand is also good. In this case, said rising actuation pattern can use the movable degree of freedom of this truncus section yawing-axis direction.

[0063] Or said truncus section has the movable degree of freedom of roll shaft orientations at least, and its hand is also good. In this case, said rising actuation pattern can use the movable degree of freedom of these truncus section roll shaft orientations.

[0064] Moreover, the 4th side face of this invention consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. It is the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius, and he is the leg formula mobile robot characterized by providing a means to perform the pattern of operation for shifting to other fall postures, at a fall decision means to judge whether it fell or not, a means to judge the posture at the time of a fall, and the time of a fall.

[0065] In the leg formula mobile robot concerning the 4th side face of this invention, said truncus section may have the movable degree of freedom of the direction of a pitching axis at least. In this case, said pattern of operation for shifting to other fall postures can use the movable degree of freedom of this truncus section pitching-axis direction.

[0066] Or said truncus section may have the movable degree of freedom of the direction of a yawing axis at least. In this case, said pattern of operation for shifting to other fall postures can use the movable degree of freedom of this truncus section yawing-axis direction.

[0067] Or said truncus section may have the movable degree of freedom of roll shaft orientations at least. In this case, said pattern of operation for shifting to other fall postures can use the movable degree of freedom of these truncus

section roll shaft orientations.

[0068] Moreover, the 5th side face of this invention consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. The step which forms the posture which is the motion-control approach of the sake when the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius lying prone, and lapsing into a posture, and is implanted only by the arm and the leg at least using the movable degree of freedom of a truncus section pitching axis, The step which raises a leg formula mobile robot's center of gravity up at least using the movable degree of freedom of a truncus section pitching axis, The step which makes small the relative location in the implantation parts of an arm and each leg at least using the movable degree of freedom of a truncus section pitching axis, the result which the implantation parts of an arm and each leg approached enough -- said leg formula mobile robot's ZMP -- a foot - - it is the motion-control approach of the leg formula mobile robot characterized by answering having gone into the implantation field and providing the step which starts expansion of the whole body.

[0069] Moreover, the 6th side face of this invention consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. The step which forms the posture which is the motion-control approach of the sake when the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius lapsing into a supine posture, and raised the upper part of the body at least using the movable degree of freedom of a hip joint pitching axis, The step which moves a leg formula mobile robot's center of gravity ahead at least using the movable degree of freedom of a truncus section pitching axis, the result which said center of gravity moved ahead enough -- said leg formula mobile robot's ZMP -- a foot -- it is the motion-control approach of the leg formula mobile robot characterized by answering having gone into the implantation field and providing the step which starts expansion of the whole body.

[0070] Moreover, the 7th side face of this invention consists of membrum

inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. It is the motion-control approach of the sake when the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius lapsing into a sideslip posture, and is the motion-control approach of the leg formula mobile robot characterized by providing the step which lies prone at least using the movable degree of freedom of a truncus section yawing axis, and shifts to a posture.

[0071] Moreover, the 8th side face of this invention consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. The step which is the motion-control approach of the sake when the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius lapsing into a sideslip posture, and floats the upper part of the body from a floor line using the movable degree of freedom of truncus section roll axes, It is the motion-control approach of the leg formula mobile robot characterized by providing the step which lies prone using the movable degree of freedom of a truncus section yawing axis, and shifts to a posture.

[0072] Moreover, the 9th side face of this invention consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. It is the motion-control approach of the sake when the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the membrum inferius lapsing into a supine posture, and is the motion-control approach of the leg formula mobile robot characterized by providing the step which shifts to a sideslip posture at least using the movable degree of freedom of a truncus section yawing axis.

[0073] Moreover, the 10th side face of this invention consists of membrum inferius and the upper part of the body which is arranged above this membrum inferius and has a predetermined movable degree of freedom in the truncus section at least. It is the motion-control approach of the sake when the leg formula mobile robot which can move freely by movement of the

membrum inferius lapsing into a fall posture. (a) The step which shifts to a sideslip posture from a supine posture, the step which lies prone from (b) sideslip posture and shifts to a posture, (c) -- the step which lies prone and shifts to a sideslip posture from a posture, the step which shifts to a supine posture from (d) sideslip posture, and ** -- it is the motion-control approach of the leg formula mobile robot characterized by providing at least one inside. [0074]

[Function] The leg formula mobile robot concerning this invention has a degree of freedom on each shaft, such as a roll, a pitch, and a yaw, in the truncus section. In the fall posture of arbitration, rising actuation is easily [smoothly and] realizable by utilizing the degree of freedom of these truncus section.

[0075] According to the leg formula mobile robot concerning this invention, the burdens and demand torque to moving part other than the truncus section are mitigated by applying the degree of freedom of the truncus section at the time of rising actuation. Moreover, the concentrated load to a specific part is avoidable by distributing and equalizing a load burden among each moving part. Consequently, while improving the dependability of robot employment, the energy efficiency in a rising actuation period improves.

[0076] Moreover, according to the leg formula mobile robot concerning this invention, easier rising actuation can be alternatively performed by carrying out the sequential shift of two or more fall postures.

[0077] Moreover, according to the leg formula mobile robot concerning this invention, superficial migration can be realized by repeating two or more fall postures successively, without rising. Consequently, rising actuation can be performed after moving to the location which can start more easily.

[0078] Moreover, according to the leg formula mobile robot concerning this invention, since a fall posture can be changed, the class and number of rising actuation patterns which must be supported can be reduced.

[0079] For example, when the robot prepares the rising actuation pattern beforehand, it becomes mitigable [compaction of a development cycle, or development cost] by reduction of the number of patterns of operation. Moreover, since the burden of hardware is also mitigated by reduction of the

number of patterns of operation, improvement in the part system is expected by it.

[0080] Moreover, when a robot generates the pattern of operation according to a situation autonomously, and the number of patterns of operation which should be generated decreases, the burden of the arithmetic unit which should be carried in the robot itself is mitigated, and reduction of equipment manufacture cost, improvement in the dependability at the time of robot operation, etc. are expected.

[0081] Moreover, according to the leg formula mobile robot concerning this invention, a rising actuation pattern can be limited by changing a fall posture. Consequently, the demand to an output torque, operating range, etc. of each actuator required for rising actuation is mitigated. Consequently, while the degree of freedom of a design improves, compaction of a development cycle, reduction of manufacture cost, etc. are realizable.

[0082] Moreover, since the approach of rising by changing a fall posture can be limited, the power consumption of the robot in a rising actuation period can be saved, and the load to supply power sources, such as a dc-battery, can be lessened. Consequently, dc-battery drive time amount extends, continuous running of long duration becomes more possible by one charge, and a robot's working hours, workspace, a work content, etc. are expanded. Moreover, since required power resource are also reduced, small and lightweight-ization of a dc-battery are attained, and the degree of freedom of a design improves. Moreover, since the requirement specification of a dc-battery mitigates, a dc-battery unit price can be held down cheaply and the manufacture cost and operation cost of the whole system can be saved.

[0083] The purpose, the description, and advantage of further others of this invention will become [rather than] clear by detailed explanation based on the example and the drawing to attach of this invention mentioned later.

[0084]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the example of this invention is explained in detail, referring to a drawing.

[0085] Signs that signs that the leg formula mobile robot 100 of "the human form" with which operation of this invention is presented, or "a human mold"

was standing straight were viewed from each of the front and back are shown in drawing 1 and drawing 2 . The leg formula mobile robot 100 consists of the membrum inferius of two pairs of right and left which perform leg formula migration, the truncus section, an upper extremity on either side, a head, and a control section as illustration.

[0086] the membrum inferius of each right and left consists of a femoral region, a knee joint, a leg part, an ankle, and ****, and is connected by the hip joint at the abbreviation lowest edge of the truncus section. moreover, the upper extremity of each right and left consists of an overarm, an elbow joint, and a forearm, and is connected by the shoulder joint in right-and-left each upper side edge of the truncus section. Moreover, the head is connected in the center of the abbreviation best edge of the truncus section by the neck joint.

[0087] Control sections are the controller (main control section) which processes the external input from drive control of each joint actuator, each sensor (after-mentioned), etc. which constitutes this leg formula mobile robot 100, and a case carrying the peripheral devices of a power circuit and others. In addition to this, the control section may contain the communication link interface and communication device for remote operation. Moreover, although it is the appearance to which the leg formula mobile robot 100 carries a control section on the back on the back in the example shown in drawing 1 and drawing 2 , especially the installation of a control section is not limited.

[0088] As one of the descriptions of the leg formula mobile robot 100 concerning this example, it is the point that the truncus section is equipped with the joint degree of freedom. When the leg formula mobile robot 100 coexists with human being, it is important in order that the device which has flexibility like a spine may carry out various and complicated actuation in human being's living conditions and dwelling space (above-mentioned). The joint degree of freedom of this truncus section is equivalent to a "spine", if it says by human being.

[0089] The configuration of the leg formula mobile robot's 100 truncus section is expanded and drawn on drawing 3 and drawing 4 .

[0090] As shown in this drawing, the truncus section joint is equipped with three joint degrees of freedom called truncus section roll axes, a truncus

section pitching axis, and a truncus section yawing axis. For example, the leg formula mobile robot's 100 upper part of the body can be shaken at right and left to the membrum inferius by the drive of truncus section roll axes.

Moreover, the leg formula mobile robot's 100 posture can be made crooked in the shape of "a character of ***" in a sagittal plane by driving a truncus section pitching axis. Moreover, by the drive of a truncus section yawing axis, a leg formula mobile robot's upper part of the body can rotate relatively to the membrum inferius, and the appearance which made the body twist can be formed.

[0091] Moreover, the joint degree-of-freedom configuration which this leg formula mobile robot 100 possesses is typically shown in drawing 5 .

[0092] As shown in drawing 5 , the leg formula mobile robot 100 consists of the truncus sections which connect the upper part of the body including two arms and a head 1, the membrum inferius which consists of the two legs which realize migration actuation, and an upper extremity and the membrum inferius.

[0093] The neck joint which supports a head 1 has three degrees of freedom called the neck joint yawing axis 2, the neck joint pitching axis 3, and the neck joint roll axes 4.

[0094] Moreover, each arm consists of the shoulder-joint pitching axis 8, the shoulder-joint roll axes 9, the overarm yawing axis 10, the elbow-joint pitching axis 11, the forearm yawing axis 12, a wrist joint pitching axis 13, wrist joint roll axes 14, and a hand part 15. A hand part 15 is the structure of the many joints and many degrees of freedom containing two or more fingers in fact. However, since there are little the contribution and effect to posture stability control or walk motion control of a robot 100, the actuation of a hand part 15 itself assumes in this example that it is a zero degree of freedom. Therefore, in this example, each arm will have seven degrees of freedom.

[0095] Moreover, the truncus section has three degrees of freedom called the truncus section pitching axis 5, the truncus section roll axes 6, and the truncus section yawing axis 7 (refer to drawing 3 and drawing 4 in the above-mentioned and a list).

[0096] Moreover, each leg which constitutes the membrum inferius consists of

the hip joint yawing axis 16, the hip joint pitching axis 17, the hip joint roll axes 18, the knee-joint pitching axis 19, an ankle joint pitching axis 20, joint roll axes 21, and a foot (vola) 22. The intersection of the hip joint pitching axis 17 and the hip joint roll axes 18 shall define the hip joint location of the robot 100 concerning this example. In fact, although the foot (vola) 22 of the body is the structure containing the vola of many joints and many degrees of freedom, the vola of the leg formula mobile robot 100 concerning this example makes it a zero degree of freedom. Therefore, at this example, each leg consists of six degrees of freedom.

[0097] If the above is summarized, as the leg formula mobile-robot 100 whole concerning this example, it will have $2 = 3 + 7 \times 2 + 3 + 6 \times 32$ degree of freedom in total. However, the leg formula mobile robot 100 for entertainment is not necessarily limited to 32 degrees of freedom. It cannot be overemphasized that a degree of freedom, i.e., the number of joints, can be suitably fluctuated according to a constraint, requirement specification, etc. on a design / manufacture.

[0098] The degree of means is mounted using an actuator in fact each one which the leg formula mobile robot 100 which mentioned above has. As for the request of eliminating an excessive swelling by the exterior and making it approximate in the shape of [human] a natural bodily shape, performing attitude control to the unstable structure called a 2-pair-of-shoes walk to an actuator, it is desirable that it is small and lightweight. In this example, we decided to carry the small AC servo actuator of the type which was a gear direct attachment type, and one-chip-ized the servo control system and was built in the motor unit. In addition, it is indicated about this kind of AC servo actuator by the Japanese-Patent-Application-No. No. 33386 [11 to] specification already transferred, for example to these people.

[0099] The leg formula mobile robot 100 having a degree-of-freedom configuration as shown in drawing 5 has arrangement which carries out possible ** of the return from almost all fall postures, i.e., the rising actuation, beforehand supposing falling (please refer to the after-mentioned for details). Therefore, it is desirable to also set the output torque of each moving part as the specification which took into consideration the return actuation from a fall

posture.

[0100] The leg formula mobile robot's 100 control-system configuration is typically shown in drawing 6 . As shown in this drawing, the leg formula mobile robot 100 consists of each device units 30 and 40 expressing human being's limbs, 50 R/L, 60 R/L, and a control unit 80 that performs adaptive control for realizing coordination actuation between each device unit (however, each of R and L is a suffix which shows each of the right and the left.). the following -- the same .

[0101] Actuation of the leg formula mobile-robot 100 whole is controlled by the control unit 80 in generalization. A control unit 80 consists of circumference circuits 82 including the interface (neither is illustrated) which performs the data of the main control section 81 which consists of main circuit components (not shown), such as a CPU (Central Processing Unit) chip and a memory chip, and each component of a power unit or a robot 100, and transfer of a command.

[0102] In this example, the power unit has composition (not shown to drawing 4) containing the dc-battery for driving the leg formula mobile robot 100 independently. If it is an independence drive mold, the leg formula mobile robot's 100 physical radius of action cannot receive the limit by the power cable, but can walk it freely. Moreover, at the time of various kinds of movements including the upper extremity of a walk or others, it becomes unnecessary to take interference with a power cable into consideration, and motion control becomes easy.

[0103] Each joint degree of freedom in the leg formula mobile robot 100 which showed drawing 5 is realized by the actuator corresponding to each. That is, the neck joint yawing-axis actuator A2 expressing each of the neck joint yawing axis 2, the neck joint pitching axis 3, and the neck joint roll axes 4, neck joint pitching-axis actuator A3, and neck joint roll-axes actuator A4 are arranged in the head unit 30, respectively.

[0104] Moreover, truncus section pitching-axis actuator A5 expressing each of the truncus section pitching axis 5, the truncus section roll axes 6, and the truncus section yawing axis 7, the truncus section roll-axes actuator A6, and the truncus section yawing-axis actuator A7 are arranged by the truncus

section unit 40, respectively.

[0105] Moreover, although subdivided by overarm unit 51 R/L, elbow-joint unit 52 R/L, and forearm unit 53 R/L, arm unit 50 R/L The shoulder-joint pitching-axis actuator A8, shoulder-joint roll-axes actuator A9 expressing each of the shoulder-joint pitching axis 8, the shoulder-joint roll axes 9, the overarm yawing axis 10, the elbow-joint pitching axis 11, the elbow-joint roll axes 12, the wrist joint pitching axis 13, and the wrist joint roll axes 14, The overarm yawing-axis actuator A10, the elbow-joint pitching-axis actuator A11, the elbow-joint roll-axes actuator A12, the wrist joint pitching-axis actuator A13, and the wrist joint roll-axes actuator A14 are arranged, respectively.

[0106] Moreover, although subdivided by femoral region unit 61 R/L, knee unit 62 R/L, and leg part unit 63 R/L, leg unit 60 R/L The hip joint yawing-axis actuator A16 expressing each of the hip joint yawing axis 16, the hip joint pitching axis 17, the hip joint roll axes 18, the knee-joint pitching axis 19, the ankle joint pitching axis 20, and the ankle joint roll axes 21, the hip joint pitching-axis actuator A17, the hip joint roll-axes actuator A18, The knee-joint pitching-axis actuator A19, the ankle joint pitching-axis actuator A20, and the ankle joint roll-axes actuator A21 are arranged, respectively.

[0107] Each actuator A2 and A3-- are the small AC servo actuators (above-mentioned) of the type which was a gear direct attachment type, and one-chip-ized the servo control system and was more preferably carried in the motor unit.

[0108] The sub control sections 35, 45, 55, and 65 for actuator drive control are arranged, respectively for every device unit, such as the head unit 30, the truncus section unit 40, the arm unit 50, and each leg unit 60. furthermore, each leg 60 -- while equipping with the touch-down check sensors 91 and 92 which detect whether the vola of R and L was implanted, the attitude sensor 93 which measures a posture is equipped in the truncus section unit 40. With the output of each [these] sensors 91-93, the inclination of implantation and the bed leaving period of the vola 22, and a truncus part etc. can be detected, and control objectives can be amended dynamically.

[0109] The main control section 80 can answer the output of each sensors 91-93, can perform accommodative control to each of the sub control sections 35,

45, 55, and 65, and can realize actuation with which the leg formula mobile robot's 100 upper extremity, the truncus, and the membrum inferius cooperated. the main control section 81 -- a user command etc. -- following -- a predetermined pattern of operation -- calling -- a foot -- while setting up movement, a ZMP (Zero Moment Point) orbit, truncus movement, upper extremity movement, lumbar part height, etc., the command (namely, directions data to an actuator) which directs actuation according to these contents of a setting is transmitted to each sub control sections 35, 45, 55, and 65. And in each sub control section 35 and 45 --, the receiving command from the main control section 81 is interpreted, and a drive control signal is outputted to each actuator A2 and A3--.

[0110] "ZMP" said here is a point on the floor line where the moment by the floor reaction force during a walk serves as zero, and a "ZMP orbit" means the locus to which ZMP moves during a robot's 100 walk actuation period etc.

[0111] In addition, the leg formula mobile robots 100 may be any of an autonomous drive mold or a remote-operation mold. In the case of the latter, they are each actuator A2 and A3 by the indicated value supplied to drawing 6 including means of communications (for example, a cable or wireless LAN, such as Ethernet) with the communication link interface and external control unit which are not illustrated not from the main control section 80 but from an external control unit. -- Processing of drive control or a sensor output can be performed.

[0112] Next, the actuation at the time of the fall in this leg formula mobile robot 100 and the procedure of processing are explained. The operations sequence at the time of the leg formula mobile robot's 100 fall is roughly shown in drawing 7 in the format of a flow chart.

[0113] The main control section 80 detects or judges having deviated from the usual posture and having resulted in the fall based on each sensor output, such as an attitude sensor 93, (step S11). For example, it can judge that self fell by the difference of the posture which was being planned and an actual posture, and the installation check sensors 91 and 92 of the vola.

[0114] The general posture at the time of the leg formula mobile robot's 100 fall corresponds to sideways ["lie prone", "look up" or up, or sideways /

"sideways"]. The direction over the gravity direction in an attitude sensor installation part is detectable with the output of an attitude sensor 93. The posture at the time of its own fall can be judged by combining and measuring whenever [in each joint degree of freedom of leg formula mobile-robot 100 self / displacement angle] (step S12).

[0115] If the posture at the time of a fall is judged, the main control section 80 will lie prone, and will call the rising actuation pattern according to each fall posture, such as supine and a sideslip, or will generate a rising actuation pattern by data processing (step S13).

[0116] and the acquired rising actuation pattern -- responding -- a foot -- while setting up movement, a ZMP (Zero Moment Point) orbit, truncus movement, upper extremity movement, lumbar part height, etc., the command (namely, directions data to an actuator) which directs actuation according to these contents of a setting is transmitted to each sub control sections 35, 45, 55, and 65 (step S14).

[0117] Consequently, each actuator A2 and A3-- are driven synchronous, and the leg formula mobile robot 100 performs whole body coordination actuation for rising (step S15).

[0118] Though a required rising actuation pattern is natural in the leg formula mobile robot 100 which has fallen, although it is various, this point is explained in detail by the after-mentioned by the reversed posture.

[0119] If the leg formula mobile robot 100 is an autonomous drive mold, in the main control section 80, it is necessary to perform decision of a fall, judgments of a fall posture, setup of a rising actuation pattern, and all the control of rising actuation. However, if the leg formula mobile robot 100 is a remote-operation mold, fall decision of a robot 100, the judgment of a fall posture, generation of a rising actuation pattern, etc. can be processed on an external device, and the indicated value based on these processings can be received and driven through means of communications, such as LAN (for example, Ethernet and BlueTooth).

[0120] Subsequently, it explains in detail about operations sequence for the leg formula mobile robot 100 concerning this example to rise from various kinds of fall postures. being possible in flexible center-of-gravity migration by

utilizing in this example, the moving part, i.e., actuator A5, of the circumference of the pitching axis prepared in the truncus section, -- carrying out -- with -- **** -- please understand enough the point of realizing rising actuation.

[0121] (1) A series of actuation for the leg formula mobile robot 100 which lies prone and is applied to this example at rising drawing 8 from a condition - drawing 13 lying prone, and rising from a condition is illustrated.

[0122] The condition immediately after falling to a floor line with the posture in which the leg formula mobile robot 100 lies prone is shown in drawing 8 . By such tipping condition, the main control section 80 detects or judges having deviated from the usual posture based on each sensor output, such as an attitude sensor 93, and having resulted in the fall.

[0123] [0124] the leg formula mobile robot 100 can judge it to be that it is in tipping condition with the posture of "lie prone" now when the main control section 80 measures whenever [in each joint degree of freedom / displacement angle] while detecting the direction over the gravity direction in an attitude sensor installation part with the output of an attitude sensor 93 [furthermore,] In the fall posture which lies prone, the leg formula mobile robot 100 shows signs that rising actuation was started to drawing 9 .

[0125] In the tipping condition shown in drawing 8 , the leg formula mobile robot's 100 center-of-gravity location is located in the lowest location near a floor line. In order to rise from tipping condition and to return to the stable erection posture, it is necessary to return a center-of-gravity location to a high condition first. In the example of a posture shown in drawing 9 , the center of gravity G is moved up gradually, supporting the whole body by the arm and the leg. At this time, the leg formula mobile robot 100 mainly does the variation rate of each of the both-shoulders joint pitching-axis actuator A8, both the elbow-joints pitching-axis actuator A11, truncus section pitching-axis actuator A5, the hip joint pitching-axis actuator A17, the knee region pitching-axis actuator A19, and the ankle joint pitching-axis actuator A20.

[0126] At drawing 10 , the location of a center of gravity G is mainly further raised up by enlarging further the variation rate of the both-shoulders joint pitching-axis actuator A8, truncus section pitching-axis actuator A5, and the

hip joint pitching-axis actuator A17. Moreover, distance of the implantation part by the arm and the implantation part by the leg is shortened gradually. Although the implantation part of an arm is the tip (hand part) and the implantation part of the leg has become a guide-peg flat-point edge (tiptoe) in the example shown in this drawing, it is not limited to especially these.

[0127] in drawing 11 , distance of an arm and the implantation part of each leg is shortened further, consequently the center of gravity G is moved toward the upper part of **** (namely, posture stable zone). Moreover, while the implantation part of an arm becomes only at the tip (hand), the implantation part of the leg shifts to the **** vola. It mainly shifts from the posture shown in drawing 11 by driving the both-shoulders joint pitching-axis actuator A8, both the elbow-joints pitching-axis actuator A11, truncus section pitching-axis actuator A5, both the hip joint pitching-axis actuator A17, and the knee-joint pitching-axis actuator A19. By making truncus section pitching-axis actuator A5 and the knee-joint pitching-axis actuator A19 into the maximum variation rate, making the truncus section and a knee region crooked as much as possible, and making distance to a center of gravity G and the vola below into the die length of an arm especially, it becomes possible to make both knee regions insert between the both-arms sections, and center-of-gravity migration is performed smoothly.

[0128] Consequently, since ZMP (Zero Point Moment) is completely held in the implantation field of ****, it becomes possible to separate an arm from a floor line. the posture to which an arm and the leg were implanted in the example given in the column of [Description of the Prior Art] since a robot did not have a degree of freedom in the truncus section -- ZMP -- a foot -- it was difficult to have made it move to an implantation field. In this example, since the truncus section is equipped with the pitching-axis degree of freedom, a posture as shown in drawing 11 becomes possible.

[0129] By drawing 12 , while separating the tip of an arm from a floor line, signs that the center of gravity G is raised further up are shown by driving both the knee region pitching-axis actuator A19, and extending the leg. The variation rate of truncus section pitching-axis actuator A5, both the hip joint pitching-axis actuator A17, both the knee region pitching-axis actuator A19,

and the ankle pitching-axis actuator A20 is mainly carried out.

[0130] By drawing 13 , a center of gravity G is raised further up, and signs that the erection posture is approached are shown. The variation rate of truncus section pitching-axis actuator A5, both the hip joint pitching-axis actuator A17, both the knee-joints pitching-axis actuator A19, and both the ankle joint pitching-axis actuator A20 is mainly carried out.

[0131] As mentioned above, as explained using drawing 8 - drawing 13 , according to the leg formula mobile robot 100 concerning this example, it can rise autonomously (namely, he has no physical exchange from the outside) from the fall posture which lies prone. Please care about enough the point that the variation rate of a truncus section pitching axis is an important element, in rising actuation.

[0132] (2) In rising drawing 14 from a supine condition - drawing 20 , a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 concerning this example to rise from a supine condition is illustrated.

[0133] The condition immediately after the leg formula mobile robot 100 falls to a floor line with a posture with the face upward is shown in drawing 14 . By such tipping condition, the main control section 80 detects or judges having deviated from the usual posture based on each sensor output, such as an attitude sensor 93, and having resulted in the fall.

[0134] By drawing 15 , the leg formula mobile robot 100 which judged the fall posture shows after the fall signs that the rising actuation from a supine posture was started. That is, the variation rate of both the hip joint pitching-axis actuator A17 is mainly carried out, and a posture which is relatively implanted by the lifting and the lumbar part in the upper part of the body is formed. Furthermore, the both-shoulders joint pitching-axis actuator A8 is made to drive, and the preparations implanted by the both-arms section are made.

[0135] Drawing 16 shows signs that the variation rate of the leg is further carried out where the lumbar part is implanted. Both the hip joint pitching-axis actuator A17, both the knee region pitching-axis actuator A19, and both the ankle pitching-axis actuator A20 are operated, and, more specifically, the posture implanted by the vola of both **** is prepared.

[0136] in drawing 17 , further, distance of the implantation part of an arm and each leg is shortened at the same time it carries out the variation rate of truncus pitching-axis actuator A5. Consequently, while a leg formula mobile robot's center of gravity G begins to occur up, ZMP begins to move toward the leg gradually.

[0137] At drawing 18 , ZMP is further brought near by the foot by shortening distance of the implantation parts of an arm and each leg. Furthermore, both the knee-joints pitching-axis actuator A19 is made to drive, and a center of gravity G is raised. Consequently, since ZMP rushes in into a vola implantation field, it becomes possible to separate an arm and the lumbar part from a floor line.

[0138] According to the leg formula mobile robot 100 concerning this example, ZMP can be brought near by the foot and it can be made to shift in a vola implantation field by forming the posture which the truncus was crooked to the maximum extent and inclined forward. That is, please understand enough the point that bed leaving of an arm and the lumbar part can be carried out by utilizing the moving part of the circumference of truncus section pitching-axis actuator A5.

[0139] In drawing 19 , after carrying out bed leaving of the arm, the location of a center of gravity G is further raised by forming the posture which extended. Both the ankle joint pitching-axis actuator A20, both the knee-joints pitching-axis actuator A19, both the hip joint pitching-axis actuator A17, and truncus joint pitching-axis actuator A5 are made to mainly drive at this time.

[0140] By drawing 20 , a center of gravity G is raised up by extending the leg further, and signs that the erection posture is approached are shown. The variation rate of truncus section pitching-axis actuator A5, both the hip joint pitching-axis actuator A17, both the knee-joints pitching-axis actuator A19, and both the ankle joint pitching-axis actuator A20 is mainly carried out.

[0141] Generally the posture of supine is one of the tipping condition to which a leg formula mobile robot cannot rise easily. According to the leg formula mobile robot 100 concerning this example, according to a series of patterns of operation shown in drawing 15 - drawing 20 , it can rise smoothly by using the moving part of the circumference of the pitching axis of the truncus section.

That is, by preparing one or more movable degrees of freedom in the truncus section, the rising actuation from a fall posture is attained, or it easy-izes.

[0142] In addition, it hits on an idea of the pattern of operation which rises after the rising actuation from a supine posture sideslips further and changes a posture besides the pattern of operation which rises in the direction of the front face of the body which was mentioned above. About the latter, it explains in detail behind.

[0143] (3) Even if it is difficult to rise directly from the posture into which the rising leg formula mobile robot 100 from a sideslip condition sideslipped, it is possible to return from tipping condition to an erection condition according to one of the patterns of operation mentioned above by lying prone from a sideslip posture or, for example, once changing into the condition in which rising actuation, such as supine, is possible. Here, the operations sequence for lying prone from a sideslip condition and changing into a condition autonomously is explained. please understand that the sideslip condition treated on these specifications is bilateral symmetry (the following -- the same).

[0144] In drawing 21 - drawing 26 , an example of a pattern of operation for the leg formula mobile robot 100 concerning this example to rise from a sideslip condition is illustrated. Fundamentally, this rising actuation pattern lies a fall posture prone by using the moving part of the circumference of a truncus section yawing axis, and is changed to a condition.

[0145] The condition immediately after the leg formula mobile robot 100 falls to a floor line with a sideslip posture is shown in drawing 21 . By such tipping condition, the main control section 80 detects or judges having deviated from the usual posture based on each sensor output, such as an attitude sensor 93, and having resulted in the fall.

[0146] By drawing 22 , the leg formula mobile robot 100 which judged that self had sideslipped shows signs that the pattern of operation for lying prone and shifting to a posture was started. More specifically the variation rate of the pitching-axis actuator A8 grade of a left shoulder joint was carried out, the left arm section was moved to the front-face side of the body, and the variation rate of a center of gravity G is tried.

[0147] In drawing 23 , the truncus section yawing-axis actuator A7 is rotated, and the upper part of the body is brought close to the posture which lies prone. Moreover, the variation rate of the left hip joint pitching-axis actuator A17 is carried out to coincidence, the whole left arm section is moved to the front-face side of the body, and the center of gravity G is moved to the space near side.

[0148] In drawing 24 , as a result of having made rotation of the truncus section yawing-axis actuator A7 and the left hip joint pitching-axis actuator A17 continuing, the left arm section is implanted and the posture which lies prone further is approached.

[0149] In drawing 25 , a center of gravity G loses stability as a result of having made rotation of the truncus section yawing-axis actuator A7 and the left hip joint pitching-axis actuator A17 continuing. Consequently, the leg formula mobile robot's 100 whole body falls on a space near side, and the crus-sinistrum-diaphragmatis section is implanted. The upper part of the body lies prone, and considerable extent advance of the shift to a posture is carried out.

[0150] In drawing 26 , as a result of having made rotation of the truncus section yawing-axis actuator A7 and the left hip joint pitching-axis actuator A17 continuing, the leg formula mobile robot 100 lay prone, and it has shifted to the posture completely. According to a pattern of operation which was already explained, the leg formula mobile robot 100 can rise autonomously (namely, he has no physical assistance from the outside), referring to drawing 8 - drawing 13 from this posture.

[0151] The example explained while referring to drawing 21 - drawing 26 has explained the pattern of operation which mainly lies prone using the drive of the truncus yawing-axis actuator A7, and shifts to a posture. Smoother posture shift is realizable what (specifically, the variation rate of the truncus roll axes is carried out before a truncus yawing axis) the drive of the truncus roll-axes actuator A6 is further used for besides this. The pattern of operation which uses together the truncus roll-axes actuator A6 and the truncus yawing-axis actuator A7, lies prone from a sideslip condition, and shifts to a posture is explained referring to drawing 27 and drawing 28 .

[0152] At drawing 27 , the posture implanted only by the leg is formed by

rotating truncus roll axes. With such a posture, the touch-down reaction force in the right shoulder section is mitigated, and bed leaving of the upper part of the body can be carried out.

[0153] Subsequently in drawing 28 , the truncus yawing-axis actuator A7 is rotated. Since the variation rate of the truncus roll-axes actuator A6 is already carried out, the torque which the drive of the truncus yawing-axis actuator A7 takes is mitigated. Moreover, posture change of the leg formula mobile-robot 100 whole can also be lessened. Consequently, it can save, the energy, i.e., the power resource, exhausted since it lies prone from a sideslip posture and shifts to a posture.

[0154] By applying two kinds of patterns of operation which were mentioned above, the leg formula mobile robot 100 can be prone lain from a sideslip condition, and a posture can be formed. According to a series of rising actuation patterns once it can lie prone and can form a condition, as it indicated to drawing 9 - drawing 13 that mentioned above as shown in drawing 8 , the leg formula mobile robot 100 can return to an erection condition autonomously (namely, he has no physical assistance).

[0155] In addition, if an arm, a foot, etc. are in the condition that it can operate freely, high-speed actuation of the circumference of a truncus section yawing axis can be produced using the reaction force of resultant force of these actuation. However, if the condition that the common leg formula mobile robot fell is assumed, the technique of using such "momentum" is lacking in certainty, and since it is hard to control passing speed, we will be anxious also about a robot's own maintenance or the bad influence to a perimeter environment. If it also takes into consideration that it is in the condition which deviated from the normal of a fall, although it is the low speed which was mentioned above, it will be considered that the pattern of operation to which a posture is changed certainly is more desirable.

[0156] (4) In rising drawing 29 from a supine condition - drawing 34 , the leg formula mobile robot 100 concerning this example is illustrating other examples of the actuation which rises from a supine condition. Although the leg formula mobile robot 100 introduced the pattern of operation which rises toward the direction of the front face of the body in the above-mentioned

example explained while referring to drawing 14 - drawing 20 , here explains the pattern of operation which rises after once sideslipping from a posture with the face upward and shifting to other postures.

[0157] The condition immediately after the leg formula mobile robot 100 falls to a floor line with a posture with the face upward is shown in drawing 29 . By such tipping condition, the main control section 80 detects or judges having deviated from the usual posture based on each sensor output, such as an attitude sensor 93, and having resulted in the fall. In this example, the pattern of operation which rises after further once shifting to a sideslip posture, lying prone further and shifting to a posture should be chosen.

[0158] drawing 30 -- both -- while it has been in the condition on which a foot and the tooth-back section were implanted, it twists by rotating both the hip joint yawing-axis actuator A16 in the direction which wants to rotate the upper-part-of-the-body section relatively. Center-of-gravity migration in this twist direction is promoted by avoiding interference with the upper-part-of-the-body section and a floor line to coincidence, and making it rotate the pitching-axis actuator A8 of a left shoulder joint by rotating the pitching-axis actuator A8 of a right shoulder joint.

[0159] At drawing 31 , in the condition [having implanted the left leg section], the right hip joint yawing-axis actuator A16 is rotated, and the whole right trail section is further rotated in this twist direction. Moreover, a center of gravity is moved in the predetermined direction by making coincidence rotate the left shoulder joint pitching-axis actuator A8 and the truncus section yawing-axis actuator A7.

[0160] In drawing 32 , further, the truncus section yawing-axis actuator A7 is rotated, rotation of the upper-part-of-the-body section is ended mostly, and implantation in the right arm section is secured to coincidence.

[0161] At drawing 33 , the right hip joint yawing-axis actuator A16 is mainly rotated, and carrying out smoothly of twist movement is attained by twisting the lumbar part to a predetermined hand of cut.

[0162] Drawing 34 shows the condition that the shift to a sideslip posture was completed mostly. Twist movement can be promoted, and it can lie prone from a sideslip posture further, and can be made to shift to a posture smoothly

by rotating further the truncus section roll-axes actuator A6.

[0163] By supporting the pattern of operation which lies from a supine posture to a sideslip posture prone from a sideslip posture further, and shifts to it to a posture, the leg formula mobile robot 100 lies prone, only has the rising actuation from a condition, and becomes possible [rising autonomously] from the tipping condition of arbitration.

[0164] In addition, **** which begins from drawing 34 and finishes it as drawing 29 is possible also for shifting to a condition with the face upward as shown in drawing 29 from the condition which sideslipped as shown in drawing 21 by performing the pattern of the reverse sense of operation.

[0165] Moreover, the leg formula mobile robot 100 can also perform migration on a floor line, i.e., a flat surface, in the condition [having fallen] by repeating and performing shift of the posture which lies prone from a sideslip condition and is said to a condition from a supine condition to a sideslip condition. For example, even if it is a case as the obstruction has entered the upper part in the reverse momentum that it is (or location where head lining is low), it can move to the upper part to a location without an obstruction by performing superficial migration which starts by tipping condition.

[0166] It has explained in detail about this invention, referring to a specific example more than [addenda]. However, it is obvious that this contractor can accomplish correction and substitution of this example in the range which does not deviate from the summary of this invention.

[0167] Although the example of representation of the rising actuation at the time of the fall about the leg formula mobile robot 100 which performs leg formula migration by 2 pairs of shoes has been explained in this specification, the pattern of rising of operation is not limited to what was shown in the accompanying drawing. Please understand that a desirable rising actuation pattern may be changed according to the engine performance of an airframe, a condition, or surrounding surrounding condition, environment, etc., etc.

[0168] In short, with the gestalt of instantiation, this invention has been indicated and it should not be interpreted restrictively. In order to judge the summary of this invention, the column of the claim indicated at the beginning should be taken into consideration.

[0169] In addition, applying drawing 3 strictly should interpret flexibly mnemonic names, such as a joint about the leg formula mobile robot 100 of a 2-pair-of-shoes walk when judging the summary of this invention, by contrast with the body mechanism of 2-pair-of-shoes erection ambulatory exercises, such as Homo sapiens that it is not appropriate and actual and an ape.

[0170] A leg formula mobile robot's joint model building is illustrated to drawing 49 for reference. In the example shown in this drawing, the part which consists of an overarm, an elbow joint 6, a forearm, a wrist 7, and a hand part 8 is called a "upper extremity" from the shoulder joint 5. Moreover, it is equivalent to the fuselage of the "truncus section", a call, and Homo sapiens in the range from the shoulder joint 5 to a hip joint 11. Moreover, the range from the hip joint 11 to the truncus joint 10 is called the "lumbar part" especially among the truncus sections. The truncus joint 10 has the operation expressing the degree of freedom which the human backbone has. Moreover, the part which consists of the femoral region 12, the knee joint 14, the leg section 13, the ankle 15, and foot 16 below a hip joint 11 is called the "membrum inferius." Generally, it is [0171] which calls [hip joint] a lower part a "lower object" for the upper part from the "upper part of the body", a call, and it. In addition, the reference number used by drawing 49 should understand a conflicting point to be the drawing of others which were referred to in these specifications, such as drawing 5 .

[0172]

[Effect of the Invention] As a full account was given above, even if it is the case where it has fallen in the midst of activities, such as walk actuation, according to this invention, the great leg formula migration mold robot which can rise by himself, and its control mechanism can be offered.

[0173] Moreover, according to this invention, it can fall, even if it is suitable and is various postures or the case where it lies, it can rise autonomously, and the great leg formula migration mold robot which can resume automatically the activity interrupted by fall, and its control approach mechanism can be offered.

[0174] Moreover, according to this invention, it can lie prone and the great leg formula migration mold robot which can rise certainly and smoothly

autonomously also from various fall postures, such as supine and sideways, and its control mechanism can be offered.

[0175] By this invention, it becomes easy, the return from a fall posture, i.e., rising actuation, of a leg formula mobile robot. Moreover, the burdens and demand torque to moving part other than the truncus section at the time of rising actuation are mitigated. Moreover, the concentrated load to a specific part is avoidable by distributing and equalizing a load burden among each moving part. Consequently, while improving the dependability of robot employment, the energy efficiency in a rising actuation period improves.

[0176] Moreover, according to the leg formula mobile robot concerning this invention, easier rising actuation can be alternatively performed by carrying out the sequential shift of two or more fall postures.

[0177] Moreover, according to the leg formula mobile robot concerning this invention, superficial migration can be realized by repeating two or more fall postures successively, without rising. Consequently, rising actuation can be performed after moving to the location which can start more easily.

[0178] Moreover, according to the leg formula mobile robot concerning this invention, since a fall posture can be changed, the class and number of rising actuation patterns which must be supported can be reduced.

[0179] For example, when the robot prepares the rising actuation pattern beforehand, it becomes mitigable [compaction of a development cycle, or development cost] by reduction of the number of patterns of operation. Moreover, since the burden of hardware is also mitigated by reduction of the number of patterns of operation, improvement in the part system is expected by it.

[0180] Moreover, when a robot generates the pattern of operation according to a situation autonomously, and the number of patterns of operation which should be generated decreases, the burden of the arithmetic unit which should be carried in the robot itself is mitigated, and reduction of equipment manufacture cost, improvement in the dependability at the time of robot operation, etc. are expected.

[0181] Moreover, according to the leg formula mobile robot concerning this invention, a rising actuation pattern can be limited by changing a fall posture.

Consequently, the demand to an output torque, operating range, etc. of each actuator required for rising actuation is mitigated. Consequently, while the degree of freedom of a design improves, compaction of a development cycle, reduction of manufacture cost, etc. are realizable.

[0182] Moreover, since the approach of rising by changing a fall posture can be limited, the power consumption of the robot in a rising actuation period can be saved, and the load to supply power sources, such as a dc-battery, can be lessened. Consequently, dc-battery drive time amount extends, continuous running of long duration becomes more possible by one charge, and a robot's working hours, workspace, a work content, etc. are expanded. Moreover, since the charge of use is also reduced as a required place, small and lightweight-ization of a dc-battery are attained, and the degree of freedom of a design improves. Moreover, since a dc-battery requires and a way mitigates, a dc-battery unit price can be held down cheaply and the manufacture cost and operation cost of the whole system can be saved.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is a **** Fig. about signs that the leg formula mobile robot 100 with which operation of this invention is presented was viewed from the front.

[Drawing 2] It is a **** Fig. about signs that the leg formula mobile robot 100 with which operation of this invention is presented was viewed from back.

[Drawing 3] It is drawing (front perspective view) on which the configuration of the leg formula mobile robot's 100 truncus section was expanded and drawn.

[Drawing 4] It is drawing (back perspective view) on which the configuration of the leg formula mobile robot's 100 truncus section was expanded and drawn.

[Drawing 5] It is drawing having shown typically the degree-of-freedom configuration model which the leg formula mobile robot 100 concerning this example possesses.

[Drawing 6] It is drawing having shown typically the control-system configuration of the leg formula mobile robot 100 concerning this example.

[Drawing 7] It is the flow chart which showed roughly the operations sequence at the time of the leg formula mobile robot's 100 fall.

[Drawing 8] It is drawing having shown a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 lying prone, and rising from a condition, and is drawing describing the condition immediately after more specifically falling to a floor line with the posture in which the leg formula mobile robot 100 lies prone.

[Drawing 9] It is drawing describing a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 lying prone, and rising from a condition, and is drawing describing signs that the leg formula mobile robot 100 more specifically started rising actuation in the fall posture which lies prone.

[Drawing 10] It is drawing describing a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 lying prone, and rising from a condition, and it is more specifically enlarging further each displacement of the both-shoulders joint pitching-axis actuator A8, truncus section pitching-axis actuator A5, and the hip joint pitching-axis actuator A17, and is drawing describing signs that the center-of-gravity location is raised further up.

[Drawing 11] it is drawing describing a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 lying prone, and rising from a condition, and is drawing describing signs that shorten further distance of an arm and the implantation part of each leg, consequently the center of gravity G is made to more specifically hold completely in the upper part of ****, i.e., a posture stable zone.

[Drawing 12] It is drawing describing a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 lying prone, and rising from a condition, and is drawing which more specifically described signs that the center of gravity G was further raised up by driving both the knee region pitching-axis actuator A19, and extending the leg while separating the tip of an arm from a floor line.

[Drawing 13] It is drawing describing a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 lying prone, and rising from a condition, and is drawing having shown signs that raised a center of gravity G up further, and the erection posture was more specifically approached.

[Drawing 14] It is drawing having shown a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a supine condition, and is drawing which more specifically described the condition immediately after the leg formula mobile robot 100 falls to a floor line with a posture with the face upward.

[Drawing 15] It is drawing having shown a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a supine condition, and is drawing where the leg formula mobile robot 100 which judged the fall posture after the fall more specifically described signs that the rising actuation from a supine posture was started.

[Drawing 16] It is drawing describing signs that the posture which both the hip joint pitching-axis actuator A17, both the knee region pitching-axis actuator A19, and both the ankle pitching-axis actuator A20 are further operated where it is drawing having shown a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a supine condition and the lumbar part is more specifically implanted, and is implanted by the vola of both **** is prepared.

[Drawing 17] it is drawing having shown a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a supine condition, and it is shortening distance of the implantation part of an arm and each leg, and, more specifically, is drawing describing signs that the location of a center of gravity G is raised up at the same time it carries out the variation rate of truncus pitching-axis actuator A5.

[Drawing 18] it is drawing having shown a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a supine condition, and is drawing which more specifically described signs that were shortening distance of the implantation part of an arm and each leg, brought near ZMP by the foot as much as possible, and bed leaving of an arm and the lumbar part was carried out.

[Drawing 19] It is drawing having shown a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a supine condition, and is drawing describing signs that the location of a center of gravity G is raised further, by more specifically forming the posture which extended.

[Drawing 20] It is drawing having shown a series of actuation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a supine condition, and is drawing which

more specifically described signs that raised a center of gravity G up by extending the leg further, and the erection posture was approached.

[Drawing 21] It is drawing having shown an example of a pattern of operation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a sideslip condition, and is drawing describing the condition immediately after more specifically falling to a floor line with the posture into which the leg formula mobile robot 100 sideslipped.

[Drawing 22] It is drawing having shown an example of a pattern of operation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a sideslip condition, and the leg formula mobile robot 100 which more specifically judged that it had sideslipped is drawing describing signs that the pattern of operation for lying prone and shifting to a posture was started.

[Drawing 23] It is drawing having shown an example of a pattern of operation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a sideslip condition, and is drawing describing signs that rotate the truncus section yawing-axis actuator A7, and the upper part of the body is more specifically brought close to the posture which lies prone.

[Drawing 24] It is drawing having shown an example of a pattern of operation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a sideslip condition, and is drawing describing signs that the posture which the left arm section is implanted and more specifically lies prone further is approached.

[Drawing 25] It is drawing having shown an example of a pattern of operation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a sideslip condition, and is drawing which more specifically described signs which made rotation of the truncus section yawing-axis actuator A7 and the left hip joint pitching-axis actuator A17 continue that the leg formula mobile robot's 100 whole body fell on a space near side as a result, and the crus-sinistrum-diaphragmatis section was implanted.

[Drawing 26] It is drawing having shown an example of a pattern of operation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a sideslip condition, and is drawing which more specifically described signs which made rotation of the truncus section yawing-axis actuator A7 and the left hip joint pitching-axis actuator A17 continue that lay prone as a result and it shifted to the posture

completely.

[Drawing 27] It is drawing having shown an example of a pattern of operation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a sideslip condition, and it is more specifically using together the drive of the truncus section yawing-axis actuator A7 and the truncus roll-axes actuator A6, and is drawing describing signs that lie prone from a sideslip condition and it shifts to a posture smoothly.

[Drawing 28] It is drawing having shown an example of a pattern of operation for the leg formula mobile robot 100 to rise from a sideslip condition, and it is more specifically using together the drive of the truncus section yawing-axis actuator A7 and the truncus roll-axes actuator A6, and is drawing describing signs that lie prone from a sideslip condition and it shifts to a posture smoothly.

[Drawing 29] It is drawing in which the leg formula mobile robot 100 showed other examples of the pattern of operation which rises from a supine condition, and is drawing which more specifically described the condition immediately after the leg formula mobile robot 100 falls to a floor line with a posture with the face upward.

[Drawing 30] The leg formula migration 100 is drawing having shown other examples of the pattern of operation which rises from a supine condition, it is more specifically rotating both the hip joint yawing-axis actuator A16, and while twisting in the direction which wants to rotate the upper-part-of-the-body section relatively, it is drawing describing signs that the center of gravity is moved in the twist direction by rotation of the pitching axis of right-and-left each joint.

[Drawing 31] It is drawing describing signs that are drawing in which the leg formula mobile robot 100 showed other examples of the pattern of operation which rises from a supine condition, and rotate the right hip joint yawing-axis actuator A16, and the whole right trail section is further rotated in this twist direction while more specifically rotating the right hip joint yawing-axis actuator A16 and rotating the whole right trail section in this twist direction further.

[Drawing 32] It is drawing in which the leg formula mobile robot 100 showed other examples of the pattern of operation which rises from a supine condition, and, more specifically, is drawing describing signs that rotate the truncus

section yawing-axis actuator A7, and implantation in the right arm section is secured.

[Drawing 33] It is drawing in which the leg formula mobile robot 100 showed other examples of the pattern of operation which rises from a supine condition, and it is mainly rotating the right hip joint yawing-axis actuator A16, and twisting the lumbar part to a predetermined hand of cut, and, more specifically, is drawing describing signs that carrying out smoothly of twist movement is attained.

[Drawing 34] It is drawing in which the leg formula mobile robot 100 showed other examples of the pattern of operation which rises from a supine condition, and is drawing where the leg formula mobile robot 100 more specifically described the condition that the shift to a sideslip posture was completed mostly.

[Drawing 35] It is drawing having shown the appearance configuration of the leg formula mobile robot (conventional example) which performs the walk in erect posture by 2 pairs of shoes.

[Drawing 36] It is drawing (conventional example) describing signs that the leg formula mobile robot which showed drawing 35 is standing straight.

[Drawing 37] It is drawing (conventional example) describing signs that the leg formula mobile robot which showed drawing 35 walks, and is drawing describing signs that a foot on either side is more specifically changed to a basis and **** by turns.

[Drawing 38] It is drawing (conventional example) having shown the condition of the leg formula mobile robot which showed drawing 35 having lain prone, and having fallen with the posture.

[Drawing 39] It is drawing having shown the pattern of operation which rises from the condition of the leg formula mobile robot which showed drawing 35 having lain prone, and having fallen with the posture, and is drawing (conventional example) having more specifically shown signs that a robot's center of gravity was raised by bringing the relative distance of the arm under implantation, and the leg close.

[Drawing 40] It is drawing having shown the pattern of operation which rises from the condition of the leg formula mobile robot which showed drawing 35

having lain prone, and having fallen with the posture, and is drawing (conventional example) having shown signs that the midst which raises a robot's center of gravity was made to more specifically move a foot ahead.

[Drawing 41] It is drawing having shown the pattern of operation which rises from the condition of the leg formula mobile robot which showed drawing 35 having lain prone, and having fallen with the posture, and is drawing (conventional example) having shown signs that moved a leg formula mobile robot's ZMP into a posture stable zone, and bed leaving of the arm was more specifically carried out.

[Drawing 42] It is drawing having shown the pattern of operation which rises from the condition of the leg formula mobile robot which showed drawing 35 having lain prone, and having fallen with the posture, and is drawing (conventional example) having more specifically shown signs that extended the leg further and rising actuation was completed after a leg formula mobile robot does bed leaving of the arm.

[Drawing 43] It is drawing (conventional example) in which the leg formula mobile robot which showed drawing 35 showed the condition of having fallen with the supine posture.

[Drawing 44] It is drawing in which the leg formula mobile robot which showed drawing 35 showed the pattern of operation which rises from the condition of having fallen with the supine posture, and it is more specifically taking the posture grounded to a floor line by the leg and the arm, and is drawing (conventional example) having shown signs that a center of gravity was raised up.

[Drawing 45] It is drawing in which the leg formula mobile robot which showed drawing 35 showed the pattern of operation which rises from the condition of having fallen with the supine posture, and is drawing (conventional example) having shown signs that relative distance of the foot and arm on which the leg formula mobile robot is implanted was more specifically gradually made small.

[Drawing 46] drawing in which the leg formula mobile robot which showed drawing 35 showed the pattern of operation which rises from the condition of having fallen with the supine posture -- it is -- more -- concrete -- a leg formula mobile robot's center-of-gravity location -- a foot -- it is drawing (conventional

example) having shown signs that it moved to the implantation field sky.

[Drawing 47] It is drawing in which the leg formula mobile robot which showed drawing 35 showed the pattern of operation which rises from the condition of having fallen with the supine posture, and is drawing (conventional example) having more specifically shown signs that extended the leg further and rising actuation was completed after a leg formula mobile robot does bed leaving of the arm.

[Drawing 48] As a leg formula mobile robot rises from a supine posture, an advance of operation is drawing (conventional example) having shown signs that it became impossible.

[Drawing 49] It is drawing having shown typically an example of the joint model building about a leg formula mobile robot.

[Description of Notations]

1 -- A head, 2 -- Neck joint yawing axis
3 -- A neck joint pitching axis, 4 -- Neck joint roll axes
5 -- A truncus pitching axis, 6 -- Truncus roll axes
7 -- A truncus yawing axis, 8 -- Shoulder-joint pitching axis
9 -- Shoulder-joint roll axes, 10 -- Overarm yawing axis
11 -- An elbow-joint pitching axis, 12 -- Forearm yawing axis
13 -- A wrist joint pitching axis, 14 -- Wrist joint roll axes
15 -- A hand part, 16 -- Hip joint yawing axis
17 -- A hip joint pitching axis, 18 -- Hip joint roll axes
19 -- A knee-joint pitching axis, 20 -- Ankle joint pitching axis
21 -- Ankle joint roll axes, 22 -- Foot (vola)
30 -- A head unit, 40 -- Truncus section unit
50 -- An arm unit, 51 -- Overarm unit
52 -- An elbow-joint unit, 53 -- Forearm unit
60 -- A leg unit, 61 -- Femoral region unit
62 -- A knee-joint unit, 63 -- Leg part unit
80 -- A control unit, 81 -- Main control section
82 -- Circumference circuit
91 92 -- Touch-down check sensor

93 -- Attitude sensor

100 -- Leg formula mobile robot
